



UNIVERSITÀ DI PISA - FACOLTÀ DI AGRARIA

Corso di Laurea specialistica in

Scienze della produzione e difesa dei vegetali

Influenza della tecnica irrigua sulla

coltivazione in vaso del geranio

(*Pelargonium peltatum* L.)

Candidato: **Santo La Fata** (matr. 245977)

Relatore: **Chiar.mo Prof. Pardossi Alberto**

Anno Accademico 2005-2006

INDICE

PREMESSA	3
1 INNOVAZIONI TECNOLOGICHE DELL'IRRIGAZIONE DELLE PIANTE ORNAMENTALI IN VASO	4
1.1 Il pilotaggio dell' irrigazione	4
1.2 Sistemi di irrigazione	12
2 IL SUBSTRATO DI COLTIVAZIONE	19
2.1 Materiali utilizzati per la preparazione dei substrati	19
2.2 Caratteristiche richieste ai substrati	23
2.3 Le proprietà idrauliche	25
3 PARTE SPERIMENTALE	29
3.1 Obbiettivi ed approccio sperimentale	29
3.2 Materiali e metodi	30
3.3 Rilievi effettuati	37
3.4 Risultati e discussione	40
3.5 Conclusioni	54
BIBLIOGRAFIA	56
RIASSUNTO	62

PREMESSA

Negli ultimi anni nella nostra società è emerso con importanza sempre maggiore il problema dell'utilizzazione razionale delle risorse idriche in seguito alla loro mancanza.

Le cause della scarsità d'acqua sono imputabili alla diminuzione delle precipitazioni piovose, alla concentrazione di queste in pochi mesi e nell'aumento della temperatura, aggravata dalla generale inefficienza del sistema di trasporto ed utilizzo dell'acqua. L'aumento dei consumi ha interessato ogni settore della nostra società: civile, industriale ed agricolo. Dobbiamo, inoltre, tener presente che la popolazione mondiale sta aumentando, sarà, quindi necessario far fronte alla crescente domanda idrica. Anche l'attività vivaistica risente delle difficoltà legate alla carenza idrica questa attività, infatti, richiede, per sua stessa natura, un grande apporto d'acqua.

Nella realtà del vivaismo possono essere messi in pratica diversi accorgimenti per risparmiare acqua, accorgimenti che non presentano difficoltà o grossi investimenti. Uno di questi è l'adozione di un adeguato sistema d'irrigazione che aumenti l'efficienza di distribuzione e di conseguenza ne diminuisca il consumo. L'irrigazione localizzata, negli ultimi anni si è notevolmente estesa, a scapito di quella a pioggia, perché permette di apportare ad ogni singola pianta il volume di acqua ad essa necessaria e perché è rilasciata direttamente nel contenitore di allevamento, evitando inutili sprechi fuori dal vaso. Sempre all'interno del vivaismo, possono essere attuate altre pratiche per incrementare l'efficienza dell'irrigazione, pratiche volte al contenimento delle perdite. È necessario, per esempio, che i vivaisti programmino con più attenzione gli interventi irrigui, conoscendo meglio le caratteristiche del substrato e del contenitore, per non correre il rischio di apportare troppa acqua, e stabiliscano il momento irriguo con l'ausilio di tensiometri. Una soluzione, per utilizzare più efficacemente le risorse idriche, è l'impiego degli impianti a ciclo chiuso che riutilizzano le "acque reflue" ossia provenienti dal drenaggio degli impianti stessi.

Per valutare queste possibilità, nel corso degli anni 2005 e 2006, è stata condotta questa tesi di laurea, con il coordinamento del Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie della facoltà di Scienze Agrarie di Pisa ed in collaborazione con il CNR-IBIMET di Firenze. Sono stati studiati diversi impianti d'irrigazione sulla coltura in vaso del geranio, gestiti con molteplici sistemi di controllo e utilizzando acque di diversa qualità.

CAPITOLO 1: INNOVAZIONI TECNOLOGICHE

NELL'IRRIGAZIONE DELLE PIANTE ORNAMENTALI IN VASO

1.1 Il pilotaggio dell' irrigazione

Secondo molti studi, per assicurare un notevole risparmio idrico e migliorare la qualità della produzione è opportuno frazionare la quantità di acqua da distribuire per ogni intervento irriguo in più dosi, da somministrare a intervalli più o meno costanti. Il numero di dosi, può variare in funzione del volume d'acqua dell'intervento irriguo, dalle caratteristiche del substrato e del vaso; e dalla tecnica dell'impianto. A tal fine gli impianti possono essere gestiti con molteplici sistemi.

Sistemi di gestione con temporizzatori

Il timer o temporizzatore è attualmente il sistema più utilizzato per la programmazione dell'irrigazione in vivaio, in conseguenza del suo basso costo e della sua facile gestione. Oggigiorno sul mercato se ne trovano molti modelli il cui prezzo varia in funzione della loro complessità. La variabilità tra i modelli dipende sia dalla qualità dei componenti, sia dal tipo di alimentazione, dai tipi di programmi che svolgono e dai settori che possono controllare. Tra i modelli più semplici e facili da usare ci sono quelli in cui i tempi per settore, le ore di partenza e le frequenze di irrigazione sono stati pre-regolati. Si tratta di un sistema di controllo e di programmazione dell'irrigazione utilizzabile con qualsiasi tecnica irrigua: a pioggia, a subirrigazione, a goccia ecc. Il principale svantaggio di questi sistemi è costituito dal fatto che, per i modelli più semplici, l'irrigazione è attivata indipendentemente dalle condizioni esterne, meteorologiche e del substrato.

I modelli più recenti possono, però, essere utilizzati in combinazione con alcuni accessori che rendono il loro impiego più razionale; come il tasto esclusione pioggia o il sensore pioggia, il sensore temperatura e gli integratori solari. Il tasto di esclusione in caso di pioggia deve essere attivato manualmente e permette la sospensione dei programmi di irrigazione previsti. Il sensore pioggia invece, in caso di un evento piovoso, interrompe automaticamente l'irrigazione a partire dal ciclo successivo. I sensori di temperatura sono strumenti che prevengono l'irrigazione quando la temperatura esterna scende al di sotto di un certo valore. Infine, l'integratore solare, è un sensore costituito da un contatore che si incrementa più o

meno velocemente secondo la luminosità presente. Una volta raggiunto il valore d'integrazione impostato, il timer, attraverso un interruttore, attiva l'irrigazione. A parte i timer equipaggiati con gli integratori solari, gli altri sono programmati in base all'esperienza del coltivatore, che decide quando e quante volte attivare l'irrigazione durante il giorno. Un sistema di misura dell'umidità del substrato può risultare utile per verificare se il numero di interventi irrigui giornalieri impostati è corretto. Ad esempio, all'inizio della stagione può essere programmato un unico intervento irriguo mattiniero. Successivi controlli periodici dell'umidità del substrato permetterebbero di individuare quando è il momento di aumentare il numero d'interventi irrigui nella giornata, in conseguenza alla crescita delle piante.

Sistemi basati su dati meteo

Il parametro che meglio rappresenta la perdita di acqua da una coltura è l'evapotraspirazione, tale dato rappresenta i millimetri d'acqua persi dal sistema suolo-pianta in seguito alla traspirazione colturale e all'evaporazione del suolo. L'evapotraspirazione è strettamente legata alla temperatura, all'umidità dell'aria, alla radiazione solare ed al vento. Essa dipende naturalmente anche dalla superficie fogliare, poiché maggiore è la superficie fogliare maggiore è la quantità di acqua persa per traspirazione.

Con evapotraspirazione potenziale, si esprime la quantità di acqua evapotraspirata da una coltura di riferimento che può essere calcolata a partire dai dati meteorologici, mentre l'evapotraspirazione reale è quella che rappresenta la quantità d'acqua effettivamente persa da quella specie in un dato intervallo di tempo. Questo parametro, rispecchiando i reali consumi della pianta, risulta quindi adatto a essere utilizzato per la gestione dell'irrigazione. Nel caso di coltivazioni di pieno campo, la stima dell'*ETE* permetterebbe di definire il momento nel quale irrigare e la quantità d'acqua da distribuire. Nel caso di colture in vaso, la stima dell'*ETE* potrebbe essere utilizzata per decidere il momento in cui irrigare, mentre la dose d'acqua da fornire con ogni intervento dovrebbe essere decisa a priori secondo le caratteristiche del contenitore e del substrato. L'irrigazione, può essere attivata anche tutte le volte che viene raggiunto un valore cumulato di acqua realmente persa dalle piante; tale misura richiede la disponibilità di un sistema di pesata, è necessario, che un campione di vasi sia posto su di una bilancia elettronica, connessa a un sistema di acquisizione dei dati in grado di attivare l'irrigazione una volta raggiunto il valore soglia di *ETE* impostato. Per colture idroponiche, in commercio esistono dei sistemi che eseguono la misurazione del peso di un contenitore con una o più piante e regolano di conseguenza in modo automatico la frequenza degli interventi irrigui. Nel caso di un ciclo chiuso, la stima dell'*ETE* potrebbe essere fatta

ponendo un contaltri a monte dell' impianto che misura la quantità d'acqua distribuita e uno a valle che misura la quantità d'acqua lisciviata del settore coltivato; la differenza tra i due volumi misurati rappresenta la quantità di acqua evapotraspirata, da reintegrare con la successiva irrigazione.

Sistemi basati sul controllo diretto delle piante

Sempre più si stanno sviluppando e stanno prendendo campo sistemi di gestione delle operazioni colturali e dell'irrigazione, basati sul Crop Modelling (abbinano lo sviluppo vegetale a dei modelli matematici previsionali) o sul Blueprint (protocolli di lavoro che guidano il coltivatore nella scelta delle operazioni colturali in base allo stato vegetativo). Questi sistemi basati sulla modellistica, coniugano conoscenza matematiche, fisiologiche e di sviluppo colturale. Le informazioni sullo sviluppo colturale possono essere ottenute in modo diretto, effettuando alcune misurazioni sul vegetale, o in modo indiretto acquisendo tali valori da appositi strumenti. Gli strumenti che si possono trovare sul mercato per tale scopo sono molteplici, alcuni consentono di effettuare misure in continuo del diametro del fusto, dei rami o dei frutti oppure lo spessore delle foglie (correlato al turgore fogliare, quindi allo stato idrico della pianta; ([www. leafsen.com](http://www.leafsen.com)) durante la loro crescita senza creare disturbo alle piante.



Sistemi in grado di rilevare un deficit idrico misurando il turgore cellulare

Questi strumenti possono inoltre essere collegato ad altri tipi di sensori come i tensiometri e per questo possono diventare un centro decisionale utile per controllare l'irrigazione. Tali sistemi che lavorano sulle dimensioni delle cellule presenti nei tessuti vegetali, possono rilevare il fabbisogno di acqua delle piante prima che comincino a soffrire per carenza idrica.



Misuratore di flusso linfatico

La variazione delle dimensioni cellulari provoca un'influenza diretta sul diametro dei rami e del fusto. Il diametro della pianta sottoposta a misura viene quindi continuamente monitorato e le informazioni riguardanti la crescita risultano molto importanti per l'abbinamento a protocolli di modellizzazione. Altri sistemi sono in grado di rilevare la presenza di un deficit idrico misurando il flusso della linfa, permettendo quindi di conoscere il consumo d'acqua della pianta. Le misure relative al flusso linfatico sono confrontate con dati relativi alle piogge, all'umidità del suolo e all'approvvigionamento idrico fornito con l'irrigazione. Attraverso l'elaborazione i tali dati viene quindi calcolato il deficit idrico che permette di determinare la quantità di acqua necessaria per ritornare allo stato ottimale. I sistemi possono essere direttamente collegati all'impianto d'irrigazione aprendo automaticamente le valvole dei vari settori, o possono informare il coltivatore della necessità di attivare l'irrigazione.

Sistemi gestiti dall'umidità del terreno

L'umidità del suolo può essere espressa come potenziale idrico (tensione) o contenuto volumetrico idrico. La misura del potenziale idrico è legata alla capacità delle piante di estrarre l'acqua dal terreno ed è quindi utile per valutare le loro reali necessità idriche. Questa

può essere misurata, oltre che con il metodo tensiometrico, e con sensori basati sul metodo della resistenza elettrica. La maggior parte dei sensori in commercio, prevede l'attivazione dell'irrigazione in modo manuale dopo aver preso visione del potenziale idrico rilevato dal sensore stesso. Alcune ditte, però, hanno sviluppato dei software in grado di attivare automaticamente l'irrigazione in base alla misura di potenziale registrato dal sensore. In questo caso al raggiungimento del valore soglia impostato, il software comanda automaticamente l'apertura delle elettrovalvole dell'impianto di irrigazione. Per una corretta gestione dell'acqua, per ogni specie è opportuno trovare delle soglie *ad hoc* variabili in funzione delle loro esigenze idriche e di resistenza alla siccità. Le misure del sensore devono essere il più possibile rappresentative delle variazioni di umidità del substrato; è stato osservato, in molte prove sperimentali, che se il sensore viene posizionato in prossimità della superficie risente troppo delle variazioni di umidità del substrato e di temperatura dell'aria, mentre se è inserito troppo in profondità non è in grado di percepire tali variazioni: quindi, in entrambi i casi, l'attivazione dell'irrigazione potrebbe non coincidere con le reali necessità della pianta. La posizione migliore, in cui inserire il sensore, risulta quella localizzata a una profondità intermedia del substrato, a non meno di 2-4 cm dal bordo laterale del vaso.

Anche il posizionamento del tensiometro all'interno del settore coltivato deve essere il più rappresentativo possibile delle condizioni idriche del settore stesso, inoltre è opportuno posizionare i sensori all'interno di vasi con piante di dimensioni medio-grandi rispetto al totale in modo da assicurare un sufficiente rifornimento di acqua a tutte le piante. Sarebbe sempre consigliabile avere più tensiometri per uno stesso settore e utilizzare, per l'attivazione dell'irrigazione, il valore medio delle letture. Nei vivai, per evitare eventi irrigui contemporanei in più settori, vengono comunemente fissate le fasce orarie in cui attivare l'irrigazione al raggiungimento del valore soglia impostato.

Strumenti per misurare l'umidità del terreno

Per misurare l'umidità del terreno esistono molteplici strumenti, che si basano su principi di funzionamento diversi. Alcuni per misurare il contenuto volumetrico d'acqua misurano la variazione della propagazione elettromagnetica del suolo che è strettamente correlata all'umidità.

Metodo elettromagnetico

Il metodo elettromagnetico, sfrutta la proprietà di propagazione delle onde elettromagnetiche ad alta frequenza all'interno del substrato. La rilevazione può essere effettuata misurando il

tempo di transito di un impulso lungo una sonda immersa nel suolo, oppure eseguendo una misura di capacità o di impedenza di una sonda immersa nel terreno. Tali sensori, permettono di eseguire misure accurate anche in terreni salini.

Altri strumenti, invece lavorano misurando la forza con cui l'acqua è trattenuta nel suolo basandosi maggiormente su due principi: il metodo della resistenza elettrica ed il metodo tensiometrico.

Metodo della resistenza elettrica

Questo metodo sfrutta il fatto che una variazione del contenuto idrico del substrato causa una variazione della resistenza elettrica tra due elettrodi. Questo metodo è sfruttato da alcuni sensori che hanno un basso costo e necessitano di una ridotta manutenzione, tuttavia hanno tempi di risposta lunghi, in particolar modo dopo essere stati sottoposti a umidità elevate per periodi prolungati; inoltre le loro prestazioni sono influenzate dalla salinità del terreno, che nel caso dei sistemi a ciclo chiuso può variare molto, sconsigliandone l'uso.

Metodo tensiometrico

Quando l'umidità del terreno decresce si ha un passaggio di acqua dall'interno del tensiometro al terreno attraverso un setto poroso; questo crea, quindi, un vuoto all'interno dello strumento che, agendo su un trasduttore di pressione elettronico comunica l'entità di depressione ad un software, che correla tale valore al contenuto idrico del suolo.

Il tensiometro

Il tensiometro, è lo strumento che attualmente, sembra il più idoneo a essere impiegato in ambito operativo e per il quale esistono modelli di dimensioni tali da poter essere utilizzati anche in vaso. Hanno un range di funzionamento tra 0 e -100 hPa. I tensiometri sono costituiti da un setto poroso di ceramica, che mantiene l'equilibrio tra l'acqua dentro il corpo del tensiometro e l'acqua presente nel suolo. Il setto è collegato attraverso un tubo di vetro o plastica acrilica a un sensore di pressione meccanico od elettronico collocato a stretto contatto con il terreno. Il trasduttore di pressione è realizzato in silicio al fine di assicurare una maggiore stabilità nei confronti della temperatura e compatibilità con la salinità e l'acqua.



Tensiometro impiegato per la regolazione dell'irrigazione delle piante in vaso.

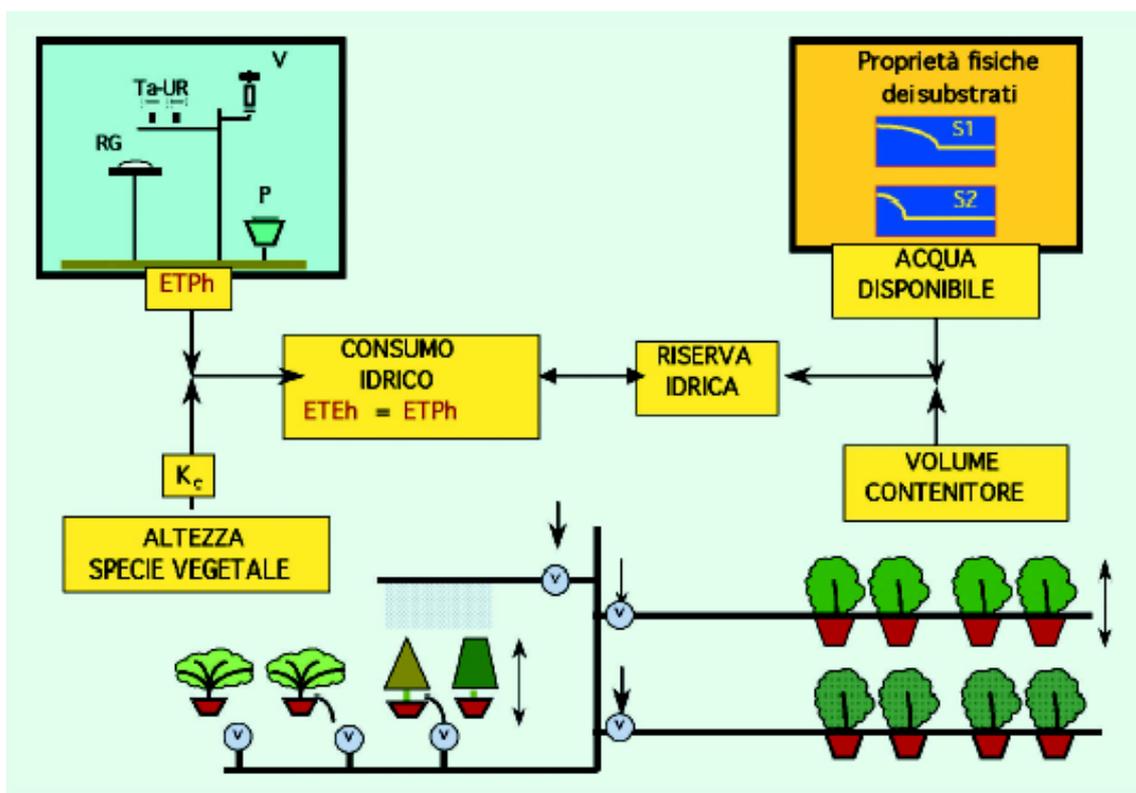
Tutte le varie componenti sono riempite di acqua distillata.

Il passaggio d'acqua dal tensiometro al substrato e viceversa è funzione dell'umidità del substrato stesso. Infatti, quando il substrato è secco si ha il passaggio d'acqua dal tensiometro al substrato tramite il setto poroso. Il vuoto parziale che si crea all'interno del tubo di vetro determina una depressione che è visualizzata sul manometro (se di tipo meccanico) o registrata dal trasduttore di pressione tramite un datalogger. Al contrario, quando il terreno è umido, il vuoto all'interno dello strumento richiama acqua fino al suo riempimento. I tensiometri possono essere a lettura diretta (mediante manometro inserito direttamente sul tubo) o collegati a sistemi di lettura/immagazzinamento dati con apposito software. La gestione dell'irrigazione potrebbe essere effettuata mediante un sistema di controllo che interrogando il sensore a intervalli predefiniti ad esempio ogni 5 minuti, attivava l'irrigazione in caso di superamento della soglia massima impostata che può essere determinata a -70 hPa e chiudere l'irrigazione al raggiungimento di un valore di circa 20 hPa.

Gestione con sistemi computerizzati

Questi sistemi sono in grado di controllare ed adattare automaticamente il funzionamento degli impianti d'irrigazione in relazione alle condizioni esterne ed ai parametri definiti dal coltivatore. I tempi irrigui vengono variati giornalmente in base ai dati rilevati dalla stazione meteorologica ed alle caratteristiche del terreno. I componenti di questi sistemi sono un computer centrale, che gestisce uno specifico software, un impianto d'irrigazione totalmente

automatizzato e una serie di sensori che monitorano i parametri ambientali. La programmazione degli impianti irrigui avviene automaticamente a partire dal valore di evapotraspirazione calcolato con i dati forniti dalla stazione meteo (temperatura dell'aria, radiazione solare, umidità relativa, velocità e direzione del vento e piovosità). Il software svolge una serie di funzioni che consistono nella gestione dei cicli irrigui (irrigazione e pausa), monitoraggio di eventuali anomalie nella distribuzione e un calcolo del bilancio idrico, considerando alcuni parametri del suolo e della coltura (coefficienti colturali) che devono essere impostati dall'utilizzatore per lo specifico tipo di suolo di vaso e di coltura. I sistemi computerizzati, possono essere coordinati con vari accessori come, il kit GSM che permette di comunicare con il sistema senza doversi collegare alla rete telefonica fissa, oppure un kit radio che permette il collegamento via radio delle diverse componenti dell'impianto, ci si può anche abbinare il sensore pioggia che misura la piovosità e consente al sistema di fermare l'irrigazione se la pioggia è sufficiente, o di modificare i tempi di irrigazione in funzione della quantità di pioggia caduta. Il costo di tale sistema è molto elevato e quindi si presenta utile per controllare l'irrigazione di vaste superfici, come quelle a verde pubblico o in estesi vivai.



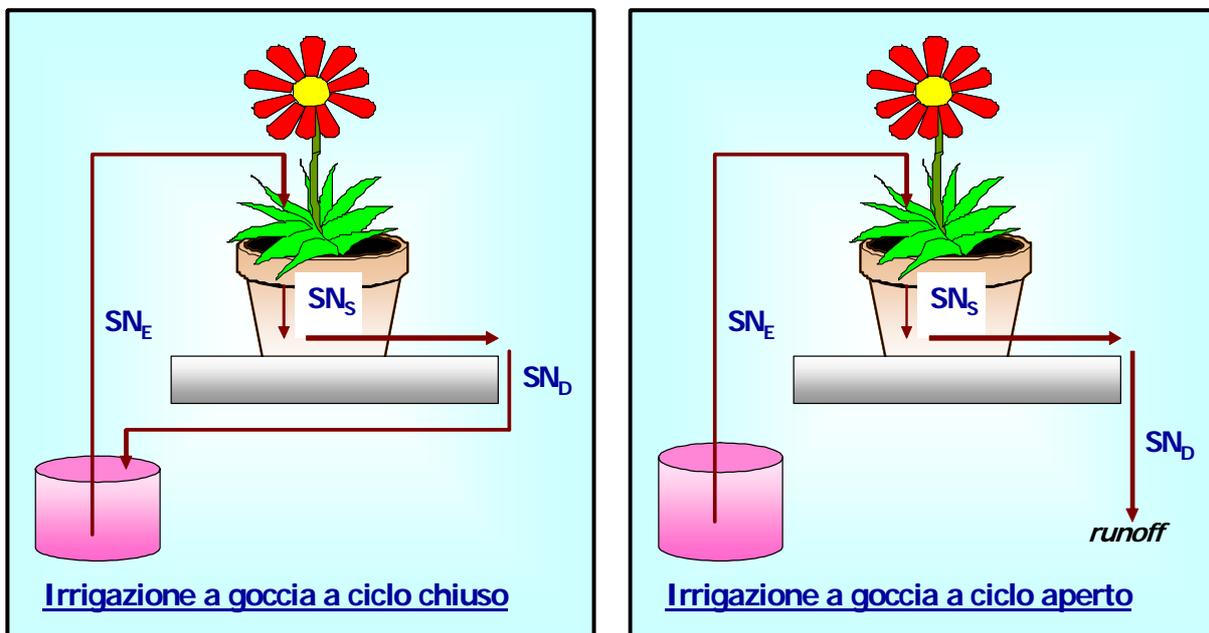
Schema dei parametri coordinati da un impianto di gestione computerizzato

1.2 Sistemi d'irrigazione

Per ottimizzare l'irrigazione allo scopo di diminuire gli sprechi, non basta solo avere un efficace sistema di controllo, ma è indispensabile che anche l'impianto di irrigazione sia all'avanguardia. In questo lavoro di tesi ne sono stati studiati e testati alcuni di cui vedremo le caratteristiche principali nei paragrafi seguenti.

Sistemi d'irrigazione a goccia

Sono caratterizzati da un'alta efficienza irrigua e sono maggiormente utilizzati dove è necessario risparmiare l'acqua. Questi impianti hanno avuto una buona diffusione nel settore florovivaistico, anche per la facilità d'impiego della fertirrigazione. Gli impianti sono caratterizzati da basse portate e funzionano a basse pressioni di esercizio (non superiori a 1,5-2 bar), con cui l'acqua viene distribuita solo sulla parte della superficie interessata dalle radici e non bagna la chioma. Nei sistemi d'irrigazione a goccia l'acqua è somministrata tramite il gocciolatore; si possono realizzare volumi di drenaggio raccolto giornalmente dell'ordine di 1-2 L/m², considerando una frazione di drenaggio del 30-50%.



Schema di funzionamento dell'irrigazione a goccia a ciclo aperto e a ciclo chiuso.

Somministrando la soluzione nutritiva con il sistema a goccia si ha un movimento percolante all'interno del substrato; la soluzione che drenata dal fondo del vaso ha generalmente una

composizione chimica differente da quella erogata, poiché le piante tendono ad assorbire l'acqua ed i vari ioni minerali in essa disciolti con rapporti diversi da quelli della formula nutritiva prescelta. L'alterazione della composizione chimica della soluzione ricircolante è provocata sia dall'assorbimento selettivo delle piante, sia dal progressivo accumulo di quegli ioni presenti nell'acqua irrigua che sono poco assorbiti come sodio e cloruri. Ciò determina un "invecchiamento" chimico della soluzione nutritiva, che è tanto più rapido quanto peggiore è la qualità dell'acqua irrigua (tanto più questa è salina) e meno accurate sono le operazioni di controllo e reintegrazione. Durante i cicli di coltivazione nella sperimentazione condotta sul geranio, per ovviare al problema dell'eccessiva salinità accumulatasi nelle soluzioni nutritive degli impianti a ciclo chiuso, al raggiungimento del valore di 4mS/cm di E.C. la soluzione veniva sostituita.

Impianti ad ala gocciolante

In questa categoria sono comprese anche le manichette, costituite da un tubo molto sottile di polietilene con dei semplici fori a distanza prestabilita. Le manichette forate non hanno un sistema di controllo sulla portata erogata da ogni singolo foro e quindi non danno garanzie sull'uniformità di distribuzione, che risulta assai bassa anche per la facilità di intasamento dei fori. Le ali gocciolanti vere e proprie (in cui esiste un sistema per il controllo della portata) si suddividono in ali gocciolanti leggere e con gocciolatore. Le prime, spesso utilizzate per coltivazioni annuali sistemate a filari, sono dotate o di uno speciale dispositivo interno o di una doppia camera: in entrambi i casi, nel punto di erogazione esiste un labirinto che ne riduce la pressione e la velocità in modo da rendere uniforme la distribuzione dell'acqua. Le ali gocciolanti con gocciolatore, grazie a un maggiore spessore del tubo, hanno una lunga durata, consentono un'irrigazione più uniforme, e si adattano a coltivazioni pluriennali. Esistono anche sistemi di ali gocciolanti con gocciolatori autocompensanti, che si utilizzano per terreni in pendenza e/o per tratti molto lunghi. In questi casi, la pressione all'inizio e alla fine della linea gocciolante presenta notevoli differenze e ciò si ripercuoterebbe notevolmente sulla portata dei singoli gocciolatori. I gocciolatori autocompensanti, invece, grazie a particolari membrane interne, riescono ad avere una erogazione costante in un intervallo abbastanza ampio di pressione (da 0,8 a 2 bar); ciò permette un'ottima uniformità di distribuzione. Molto spesso questi speciali gocciolatori sono dotati anche di un dispositivo di autopulizia contro gli intasamenti.

Impianti con gocciolatori

In questo caso si ha una linea di polietilene a bassa densità (di diametro compreso fra 16 e 25 mm) su cui sono inseriti, alla distanza più adatta, dei gocciolatori. Si possono avere gocciolatori del tipo a bottone o a freccetta. Il gocciolatore a bottone presenta al suo interno un particolare labirinto, che opera una riduzione della velocità e della pressione dell'acqua: ciò permette una certa uniformità nell'erogazione e al tempo stesso crea un flusso autopulente. Inoltre, nei modelli autocompensanti, una membrana permette di ottenere un flusso costante indipendentemente dalle variazioni della pressione di esercizio. I gocciolatori a bottone possono essere montati o direttamente sulla linea e da qui erogare l'acqua alla pianta tramite un tubicino di polietilene, oppure all'estremità dello spaghetto per l'utilizzo nelle coltivazioni in contenitore. Esiste anche un ultimo tipo di gocciolatore, quello antidrenaggio. In questo caso, il gocciolatore è dotato di una speciale membrana che chiude completamente la fuoriuscita di acqua quando la pressione scende sotto un valore predeterminato (da 0,3 a 1 bar, a seconda dei modelli), impedendo lo svuotamento della linea. Ciò è vantaggioso nel caso delle colture fuori suolo caratterizzate da interventi irrigui brevi e numerosi, dove c'è il rischio di un'eccessiva somministrazione di acqua nelle parti finali della linea per lo svuotamento di questa.

Impianti con erogatori

Questi tipi di impianti sono caratterizzati da portate unitarie elevate a basse pressioni, sono anche detti a sorsi. Il principale vantaggio è, oltre a quello di una ridotta incidenza di intasamento per la maggiore portata, di avere una superficie bagnata superiore ai sistemi con gocciolatore classico, grazie sia alla distribuzione dell'acqua in un piccolo ventaglio, sia alla maggiore portata. Tutto ciò favorisce una migliore distribuzione dell'acqua e la maggiore uniformità di umidità all'interno del vaso, favorendo così una crescita dell'apparato radicale più uniforme. Sono molto usati per vasi di grande dimensione (per l'allevamento di alberi ornamentali di grossa taglia).

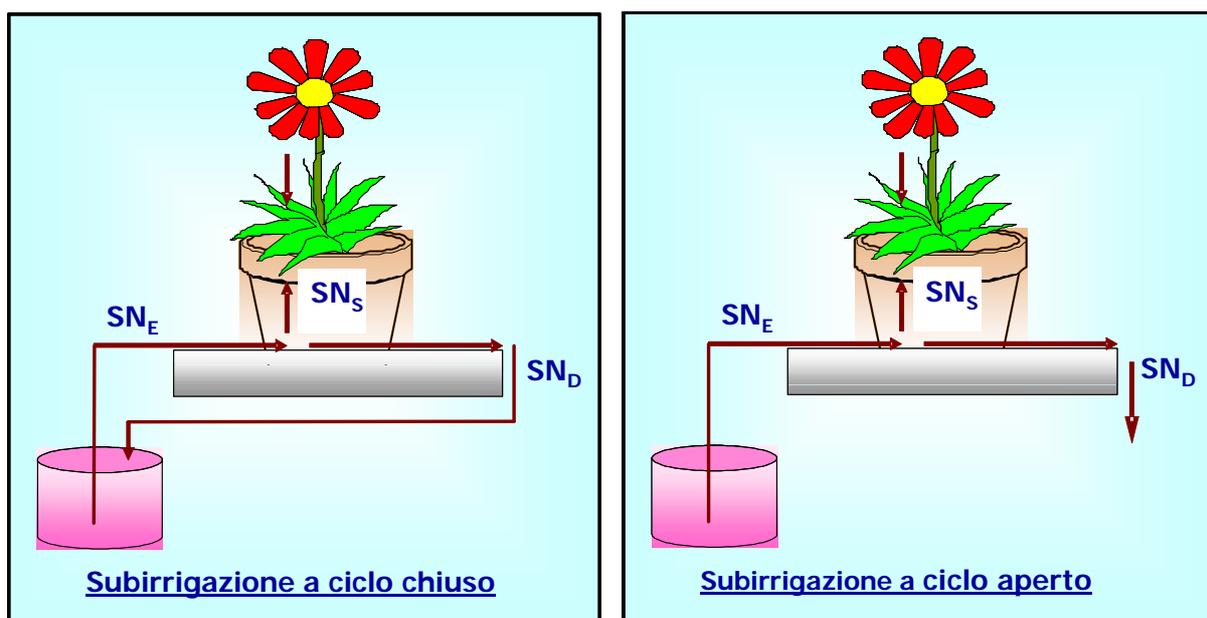
Impianti con capillari

Il sistema di irrigazione localizzata con capillari (o a spaghetto) si è molto diffuso nel settore florovivaistico per la sua semplicità e per il basso costo. Il sistema è costituito da un tubo in polietilene di diametro 20 o 25 mm su cui vengono inseriti dei capillari con ridotto diametro (da 0,5 a 1,5 mm di diametro interno), con lunghezza adeguata per raggiungere il punto di erogazione. A parità di pressione, la portata è direttamente proporzionale al diametro del

capillare e inversamente proporzionale alla sua lunghezza. L'impianto è corredato da astine da avvitare all'estremità del capillare, per il giusto posizionamento nel vaso o vicino alle radici delle piante. Questo tipo di impianto, è economico, ma presenta il principale svantaggio di essere poco uniforme, a causa delle perdite di pressione che si hanno lungo la linea, occorre quindi non montare linee con un alto numero di punti goccia e conviene sempre utilizzare impianti irrigui a doppia testata a circuito chiuso, in modo da fornire acqua in pressione a entrambe le estremità della linea con i capillari.

Sistemi d'irrigazione a subirrigazione

La subirrigazione è una tecnica molto interessante come dimostrato dalla crescente diffusione dei sistemi di coltivazione a flusso e riflusso (su bancale o su pavimento) o a scorrimento in canaletta per la produzione di piante ornamentali in vaso. Normalmente, nelle colture in contenitore, la soluzione nutritiva viene erogata con gli impianti a goccia e, attraversa tutto il substrato per fuoriuscire alla base del vaso, cambiando le sue caratteristiche. Nella subirrigazione, invece, la soluzione nutritiva entra dalla parte basale dei vasi e si muove, per capillarità, secondo un flusso praticamente unidirezionale dal basso verso l'alto in questo modo, i sali non assorbiti dalle piante, che nei sistemi a goccia tendono ad accumularsi nella soluzione nutritiva ricircolante, tendono ad accumularsi nel substrato e in particolare nello strato superiore (figura 1); dove peraltro si sviluppano pochissime radici, concentrate invece nella parte basale del vaso.



Schema di funzionamento della subirrigazione a ciclo aperto e a ciclo chiuso.

In virtù di ciò, la subirrigazione riduce, rispetto all'irrigazione a goccia, le variazioni della composizione della soluzione ricircolante che invece possono verificarsi nei sistemi di irrigazione a goccia. La subirrigazione, inoltre, consente anche una più uniforme distribuzione della soluzione nutritiva nel substrato ed una riduzione della manodopera necessaria per le operazioni di irrigazione e soprattutto per quelle di movimentazione dei vasi, che può essere meccanizzata o addirittura robotizzata grazie all'uso di particolari muletti nel caso degli impianti a flusso e riflusso su pavimento. Ai vantaggi sopra indicati si contrappongono, tuttavia, alcuni svantaggi legati soprattutto all'accumulo di sali negli strati superiori del substrato che pongono alcune difficoltà nel caso in cui si cambi sistema di irrigazione; infatti se dopo un lungo ciclo di subirrigazione si passa ad una irrigazione a goccia i sali accumulati in superficie si possono risolubilizzare creando uno sbalzo di salinità nella soluzione circolante. Ciò sconsiglia l'utilizzo di questa tecnica in presenza di acque molto saline e con prodotti a lungo ciclo colturale: in questi casi, infatti, l'accumulo di salinità nel vaso può essere così elevato da indurre riduzioni significative nella crescita della pianta coltivata.

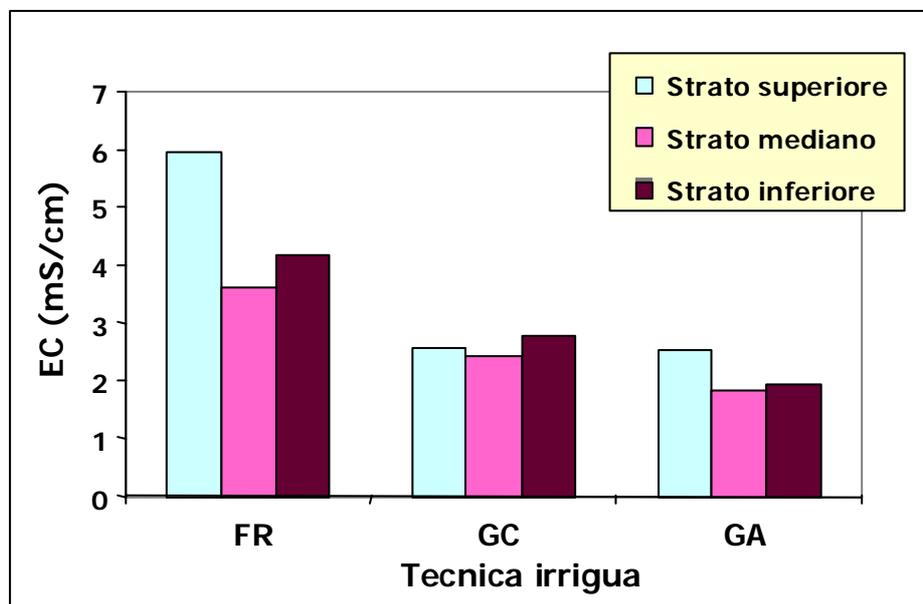


Figura 1. Differente incremento della salinità del substrato in relazione alla tecnica irrigua (Fonte: Guarino et al., 2002.). FR = Subirrigazione a flusso e riflusso. GC = Irrigazione a goccia a ciclo chiuso. GA = Irrigazione a goccia a ciclo aperto.

Impianti d'irrigazione a ciclo chiuso

Nei sistemi d'irrigazione a ciclo chiuso l'acqua di drenaggio viene raccolta e riutilizzata per l'irrigazione dopo opportuni trattamenti (filtrazione, disinfezione, correzione del pH e reintegrazione nutritiva, questa ultima realizzata in genere attraverso l'aggiustamento della conducibilità elettrica). In un sistema di coltivazione in vaso, la frazione di drenaggio corrisponde al rapporto tra la soluzione erogata e quella persa dal fondo del vaso stesso quindi, la frazione di drenaggio è la quantità d'acqua fornita con l'irrigazione che eccede la capacità di contenitore , cioè la quantità massima d'acqua trattenuta da un vaso contro la forza di gravità, che dopo un'abbondante irrigazione, rimane una volta terminato il drenaggio. La capacità di contenitore dipende sia dalle caratteristiche geometriche del contenitore (altezza, diametro, volume), sia dalle proprietà fisiche del substrato impiegato.

Sistemi a zero-drain

I sistemi *zero-drain* (senza drenaggio) sono semplicemente l'ottimizzazione dei sistemi d'irrigazione a goccia. differenza consiste nel regolare attentamente l'apporto d'acqua in modo da tenere un livello d'umidità nel substrato il più costante possibile e, soprattutto, al di sotto della capacità idrica di contenitore; in questo modo si ha perdita d'acqua per gravità quasi nulla, se non in minima parte. Il controllo di un sistema *zero-drain* non può basarsi su di un temporizzatore, sono necessari, dei tensiometri che, in modo automatico, regolano l'irrigazione sulla base dell'umidità nel substrato di due o tre vasi rappresentativi. La relazione tra la tensione ed il contenuto di acqua del substrato è descritta da una curva di ritenzione idrica, caratteristica di ogni substrato.

Dal punto di vista fisiologico, l'intervallo di tensione tra -10 e -100 hPa è considerato (sulla base di prove sperimentali) quello ottimale per le piante; in ogni caso, non bisognerebbe mai scendere sotto -150 hPa. Anche sotto di -100 hPa il substrato contiene ancora molta acqua ed appare umido al tatto; ciò nonostante, la tensione può essere tale da ostacolare l'assorbimento idrico radicale. Nell'irrigazione senza drenaggio, il tensiometro regola l'irrigazione in modo da mantenere la tensione d'umidità nel substrato tra -10 hPa ed -50 hPa (v. Figura 2); questi valori, sono rilevati in prossimità del setto poroso del tensiometro, posto in genere a circa la metà dell'altezza del vaso.

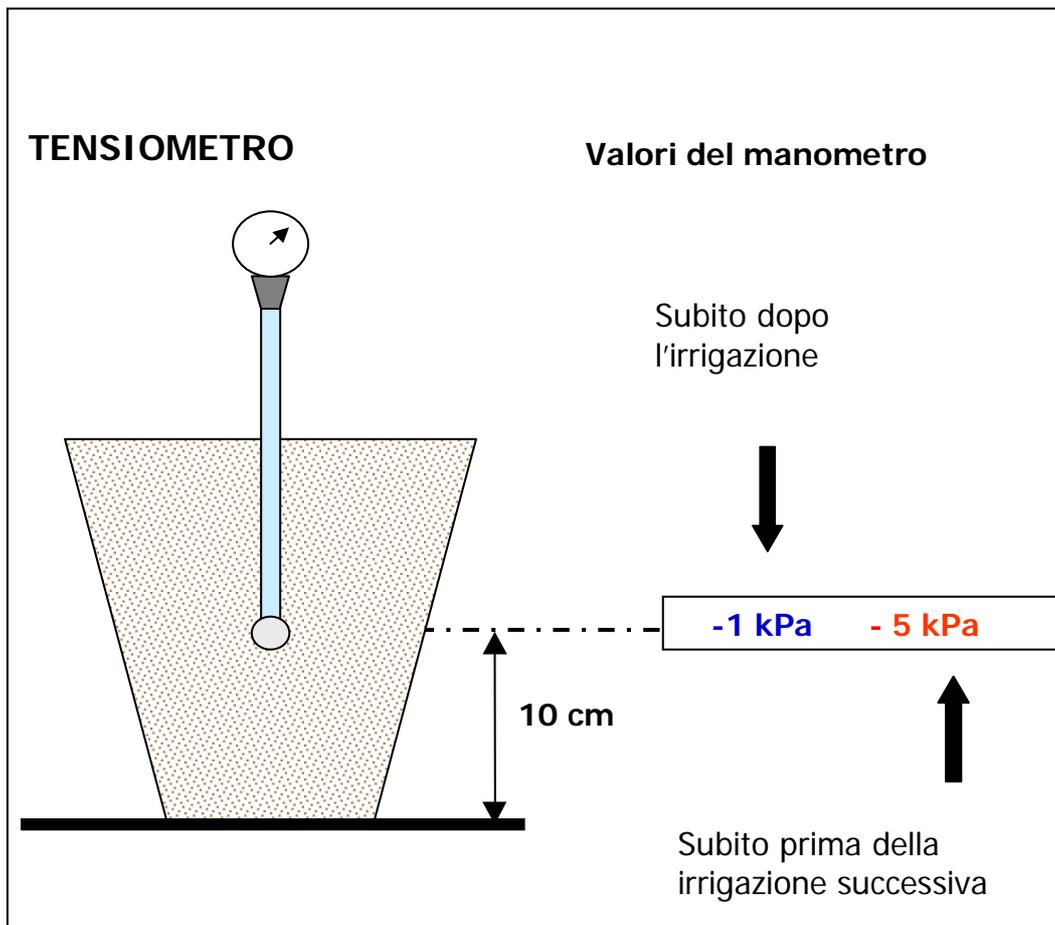


Figura 2. Valori della tensione di umidità del substrato in prossimità del setto poroso del tensiometro prima e dopo l'irrigazione.

Il tensiometro può essere utilizzato anche per pilotare l'irrigazione nell'irrigazione a goccia con drenaggio e nei sistemi a flusso e riflusso; in questo caso, il setto poroso si inserisce più in basso, a un terzo dell'altezza del vaso. Nei sistemi *zero-drain* ci sono degli inconvenienti relativi all'accumulo di sali che può verificarsi se la fertirrigazione non è ben gestita o l'acqua non è di buona qualità. I sistemi *zero-runoff* consentono la coltivazione in serra delle piante ornamentali con evidenti vantaggi in termini di risparmio idrico e di sostenibilità ambientale. Abbinando questo sistema all'irrigazione a flusso e riflusso, si ottengono numerosi vantaggi anche dal punto di vista dell'organizzazione generale del processo produttivo che diventa, di più facile gestione rispetto ai sistemi *zero-drain*, a goccia che necessitano di un'ottima qualità dell'acqua irrigua e che comportano maggiori difficoltà di gestione.

CAPITOLO 2: IL SUBSTRATO DI COLTIVAZIONE

2.1 I MATERIALI UTILIZZATI PER LA PREPARAZIONE DEI SUBSTRATI

La necessità di coltivare e valorizzare al massimo le colture in vaso impone l'utilizzo di un substrato diverso dal terreno. Questo substrato artificiale può essere preparato con materiali di varia natura come (torba, compost, pomice, perlite,) in varie percentuali, possono essere anche usati altri materiali come la lana di roccia la fibra di cocco o la perlite. Questi ultimi materiali possono garantire una maggiore sterilità, uniformità ed assenza di patogeni ed infestanti.

La torba

La torba, rappresenta la componente di base più usata per preparare i miscugli impiegati nelle colture in vaso. Questo materiale è derivato dalla decomposizione di specie palustri (muschi, felci, equiseti, graminacee) in particolari ambienti acquitrinosi ed asfittici. Le torbe possono essere di diversi tipi : bionde, o brune, sub acide, o alcaline. La torba presenta le caratteristiche ideali per il substrato di coltivazione, è leggera, omogenea, molto porosa, abbastanza stabile, e sicura dal punto di vista sanitario. Riguardo alle caratteristiche botaniche le diverse specie presentano eterogeneità che incide sulle proprietà fisiche delle torbe. Fra le varie categorie di torbe disponibili in commercio, quelle di sfagno rappresentano il materiale di partenza più idoneo alla preparazione di substrati. Lo sfagno è una specie appartenente alla famiglia delle *Sphagnaceae* ed al genere *Sphagnum*, comprende numerosi vegetali di larga diffusione in località dove si verifica elevata umidità, ed in genere in acque stagnanti ed in acquitrini; in cui concorre alla formazione della torba. Lo sfagno è estremamente leggero e permeabile, ha una grande capacità di assorbimento dell'acqua, fino a 10-20 volte il suo peso. Se la torba è poco degradata, e sono presenti foglioline e branche, queste svolgono in maniera ottimale l'azione di trattenimento dell'acqua. Viceversa, all'aumentare della decomposizione della torba, aumenta anche il livello di degradazione della struttura, con peggioramento delle caratteristiche idrologiche. Quanto sopra detto sottolinea, l'importanza della torba per il settore vivaistico, ma d'altra parte, una serie di ragioni spingono verso la ricerca dei materiali alternativi alla torba. Infatti, i prezzi della torba crescono in continuazione in seguito all'incremento dei costi energetici che incidono su tutte le fasi del processo produttivo, compreso il trasporto dai paesi produttori del Nord-Europa. Inoltre, sempre più aumenta la domanda di substrati ecologicamente sostenibili in conseguenza di una campagna di stampo

ambientalista condotta contro lo sfruttamento delle torbiere, in considerazione del valore naturalistico di questi particolari habitat e della natura di risorsa “non rinnovabile” di questo materiale, la cui formazione richiede migliaia di anni.

Materiali alternativi alla torba

Al fine di giungere ad una graduale sostituzione della torba sono utilizzate numerose materie prime. Ci sono tuttavia delle limitazioni che interessano la maggior parte di queste materie, infatti, per le loro caratteristiche, sono destinate ad integrare dei miscugli e non ad essere utilizzate singolarmente, se non con l'impiego di particolari tecniche di coltivazione. Tale è il caso dei materiali drenanti (perlite, pomice, pozzolana, argilla espansa ecc.) che sono utilizzati, in miscela, per incrementare la capacità per l'aria del substrato e, da soli, nelle colture idroponiche di ortaggi e fiori recisi. Di seguito sono descritte le principali caratteristiche e proprietà delle materie prime che hanno mostrato le migliori attitudini all'utilizzo in campo florovivaistico.

Fibra di cocco

La fibra di cocco è un materiale di scarto derivato dalla lavorazione della noce di cocco da cui viene separato l'involucro fibroso, che costituisce un prodotto di scarto, in questo caso utilizzato. Il prodotto ottenuto è la fibra di cocco in polvere. Dopo la setacciatura, viene asciugata, confezionata in sacchi oppure compattata in mattonelle o in pani compressi. La fibra di cocco è utilizzata in orticoltura e in floricoltura per la coltivazione fuori suolo; è molto diffusa, ad esempio, per la rosa da fiore reciso. Viene utilizzata pura o in miscela e rappresenta una tra le più valide alternative all'utilizzo della torba, avendone caratteristiche fisico-chimiche molto simili. Questo materiale ha una reazione abbastanza neutra e, se si esclude il caso delle piante acidofile, sostituisce abbastanza bene la torba nei substrati per le colture in contenitore.

Fibra di legno

La fibra di legno è un materiale lignino-cellulosico caratterizzato da valori elevati di porosità e da alta capacità per l'aria, da cui ne risulta una ridotta ritenzione idrica; tali caratteristiche ne consigliano un uso in miscugli che tendono a diventare asfittici. Tra le proprietà chimiche più rilevanti troviamo il pH neutro o subacido, la ridotta dotazione in elementi minerali solubili e, di conseguenza, la bassa conducibilità elettrica (EC). Da sottolineare è anche l'elevato rapporto C/N della materia prima grezza, che può causare fenomeni di immobilizzazione dell'azoto da parte dei microrganismi presenti ed una riduzione della disponibilità di questo

elemento nutritivo per la pianta in coltivazione. Per ovviare a tale inconveniente il prodotto commerciale viene stabilizzato con l'aggiunta di composti azotati.

Corteccia

Le cortecce sono ottenute dagli scarti di lavorazione di alcune specie legnose (*Pinus*, *Abies*, *Quercus*, ecc.). La composizione è molto variabile, tali sostanze necessitano di particolari trattamenti di compostaggio e preparazione per stabilizzare il materiale, eliminarne le sostanze fitotossiche e ridurre il rapporto C/N. Le cortecce compostate presentano una buona capacità tampone sul pH, un'elevata porosità e una buona capacità di ritenzione idrica; si prestano particolarmente bene per la radicazione delle talee. Molto usata, soprattutto in USA, è la corteccia di pino macinata in granuli di 0,5-2 cm di diametro, per le sue caratteristiche assai simili a quelle della torba di sfagno viene ultimamente utilizzata per la formazione dei substrati di molte specie ornamentali.

Paglia

Diversi tipi di paglia o la pulla di riso, se opportunamente sminuzzati, possono essere utilizzati nel campo delle colture florovivaistiche per la composizione di miscugli. L'utilizzo di tale materia prima è stato indotto dalla grande disponibilità sul mercato, e dalla facilità di reperimento ad un costo contenuto. Nella scelta delle paglie è molto importante l'esame del rapporto N/C, infatti se è superiore a 50 è necessaria l'aggiunta di azoto al miscuglio, al fine di non alterare l'equilibrio di questo macroelemento, e renderlo non disponibile per la coltura. L'abbassamento del rapporto azoto/carbonio si agevola con il compostaggio, ma tale operazione spesso rende il substrato asfittico e quindi usabile solamente in piccole percentuali nel miscuglio.

Compost

Il compost è il prodotto della bioconversione aerobica, promossa dai microrganismi presenti nei materiali vegetali da compostare. Le biomasse possono essere di diversa natura: rifiuti vegetali urbani, scarti industriali o agricoli e fanghi di depurazione. Proprio per questa estrema eterogeneità sia delle biomasse che dei processi produttivi impiegati, il termine compost comprende in genere prodotti molto diversi tra loro, con caratteristiche fisiche e chimiche assai variabili. I compost vengono quindi divisi in tre categorie

1) *Ammendante compostato verde*, cioè il prodotto ottenuto a seguito del processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di residui organici verdi (scarti della manutenzione del

verde ornamentale, residui colturali, materiale vegetale in genere);
2) *Ammendante compostato misto*, cioè il prodotto ottenuto a partire non solo da scarti vegetali ma anche dalla frazione organica derivante da residui solidi urbani, rifiuti di origine animale, rifiuti di attività agroindustriali, reflui e fanghi;
3) *Ammendante torboso composto*, cioè la miscela di torbe con ammendante compostato verde e/o misto. All'interno d'ogni singola categoria i prodotti finali possono mostrare caratteristiche differenti dal punto di vista agronomico. Questo fatto contribuisce alla diminuzione del suo uso, poiché in certi casi si può verificare una riuscita colturale non all'altezza delle aspettative. Negli ultimi anni si è andato affermando un nuovo tipo di compost, denominato di "qualità", che ha delle caratteristiche interessanti ed una miglior riuscita nell'impiego vivaistico. Questo prodotto è ottenuto con biomasse selezionate alla fonte ed attraverso un processo di bioconversione aerobica controllata. Le biomasse impiegate possono essere scarti "verdi" come potature, sfalci, fogliame; eventualmente integrati con altri materiali ligneo-cellulosici (trucioli, cassette, pancali). Questi vengono amalgamati con matrici ad elevata fermentescibilità, come gli scarti di origine alimentare o di lavorazioni dell'agroindustria, i fanghi biologici o la frazione organica dei rifiuti solidi urbani.

Lana di roccia

Si presenta come un materiale a struttura fibriforme, ottenuto dalla fusione a 1500°C di un miscuglio di rocce (diabasi 60%, calcare 20%, e carbone 20%). Da tale processo si origina un tessuto composto da fili di 0,05 mm di diametro avente un'elevata porosità (87%) ed un basso peso specifico (80 Kg/m³). Essendo chimicamente inerte può essere impiegato come substrato, purché nelle aziende sino somministrate alle colture soluzioni nutritive complete.

Pomice

La pomice è un materiale poroso di origine vulcanica, molto leggero usato là dove è disponibile, in alternativa alla sabbia o alla ghiaia nelle colture idroponiche. E' formata da silicati di alluminio contenenti piccole quantità di potassio, sodio e tracce di calcio, magnesio e ferro. La pomice ha modesta capacità di scambio cationico con la soluzione circolante, viene utilizzata come materiale drenante.

Vermiculite

La vermiculite è un silicato idrato di magnesio, alluminio, e ferro che viene estratto da giacimenti naturali. Il materiale originale è formato da lamelle sottili che trattengono numerose goccioline d'acqua al loro interno; in seguito a un processo di riscaldamento a

1000° C, perde la tipica struttura a strati e si espande fino a circa venti volte il suo volume originale, acquisendo una struttura a nido d'ape. La vermiculite disidratata pesa da 80 a 110 Kg/m³, il pH può essere leggermente acido solitamente compreso fra valori di 6-6,8 o neutro. E' dotata di un forte potere assorbente nei confronti dell'acqua, infatti ne può assorbire fino a cinque volte il suo peso ma con il trascorrere del tempo la struttura a nido d'ape tende a disgregarsi, con perdita delle caratteristiche fisiche. Viene pertanto utilizzata in miscuglio con altri materiali.

Perlite

La perlite è un materiale prodotto da rocce vulcaniche grigio-biancastro, viene ottenuto mediante il riscaldamento ad alte temperature intorno a 700°C di un silicato di alluminio originato da colate vulcaniche. A queste temperature l'acqua contenuta nel minerale in piccole quantità si trasforma in vapore, espandendo le particelle di perlite in piccoli grumoli spugnosi a cellule chiuse. Ne deriva un materiale molto leggero, la struttura cellulare chiusa riduce di molto la capacità di ritenzione idrica ed il peso, mentre elevato è il potere drenante. Per queste caratteristiche viene utilizzata in miscela con la torba, nella costituzione dei substrati di coltivazione o tal quale in colture senza suolo. La perlite è un materiale chimicamente inerte, ha un pH tendenzialmente neutro, e non è dotata di elementi nutritivi.

2.2 CARATTERISTICHE RICHIESTE AI SUBSTRATI

Sul mercato oggi sono disponibili innumerevoli substrati diversi tra loro per le loro caratteristiche, rimangono comunque ad essi richieste alcune specificità che sono analizzate nei paragrafi seguenti.

Capacità di ancoraggio

Alcuni substrati a causa del loro basso peso specifico e della loro incoerenza come nel caso dei terricci grossolani, della perlite e del polistirolo espanso non si prestano ad essere impiegati da soli nelle colture in vaso, soprattutto se impiegati in colture da vaso ornamentali coltivate all' esterno. In serra nei casi in cui le piante possono soffrire di asfissia radicale sono usati substrati più leggeri. Il volume apparente del substrato può variare per effetto di due cause fisiche: il costipamento e la tensione matriciale con cui è ritenuta l'acqua nel materiale. Il costipamento è la conseguenza della destrutturazione delle particelle che porta ad una maggiore compattezza; è causato dalla somministrazione d'acqua d'irrigazione e dalla

crescita dell'apparato radicale. La tensione matriciale influenza la posizione delle particelle, è innescata da fenomeni di capillarità e sotto tali azioni, le particelle di materiale sono attratte le une verso le altre.

Ritenzione idrica

Il substrato deve mantenere una riserva idrica, tale riserva aumenta all'aumentare della densità apparente. Un'elevata capacità idrica del substrato deve essere accompagnata da una buona capacità di ritenzione dell'acqua, influenzata dalla forma del contenitore per mantenere costanti i livelli di umidità, evitare frequenti irrigazioni, e possibili dilavamenti. Il substrato ed in particolare il metodo di somministrazione dell'acqua devono anche permettere una umidificazione uniforme per tutto il vaso, evitando quindi uno sviluppo anomalo dell'apparato radicale.

Porosità

Nel substrato si deve creare un sistema di porosità tale da trattenere una certa quota di acqua, ma non creare un ristagno idrico con relativa asfissia radicale. La porosità totale è definita come la differenza fra l'unità ed il volume totale occupato dalla materia solida, dato da densità apparente/quella reale del materiale. La densità apparente è facilmente calcolabile, a differenza di quella reale. Fortunatamente si può approfittare del fatto che i solidi minerali variano la loro densità reale in un campo abbastanza ristretto tra $2,3-3,0 \times 10^6 \text{ g.m}^{-3}$ con valore medio pari a 2,65 mentre i materiali organici presentano un valore attorno a $1,5 \text{ g.m}^{-3}$. Per cui, avendo preventivamente calcolato la percentuale di materia organica presente nel miscuglio, si può porre: $D_r = 100 / [(\% \text{ mat.org.} / 1.5 + \% \text{ mat.miner.} / 2.65)]$

Potere tampone e nutrienti

Il potere tampone è la capacità di mantenere durante tutto il periodo di coltivazione un pH prossimo all'optimum richiesto dalla pianta, infatti variazioni sostanziali di pH possono rendere il substrato non idoneo alla coltura e rendere in forma non assimilabile la maggior parte degli elementi nutritivi. Non si reputa necessario che il substrato contenga elementi nutritivi, questi infatti possono essere aggiunti facilmente in rapporto alle esigenze nutritive, ed anche durante la coltivazione con la fertirrigazione. Nutrienti somministrati in eccesso possono portare un aumento della salinità del substrato. In alcuni casi, come per le colture fuori suolo, il substrato che serve solo per ancorare la coltura, deve essere chimicamente inerte, in modo da non provocare variazioni incontrollate nella composizione della soluzione nutritiva.

Stabilità nel tempo

E' la capacità di rimanere uguale durante tutto il ciclo di coltivazione. Molto spesso si hanno variazioni importanti durante la coltivazione a carico della densità apparente e della macroporosità, che tende a diminuire. Al contrario, pH e salinità tendono spesso a salire soprattutto a causa delle caratteristiche chimiche delle acque irrigue, spesso saline e/o alcaline.

Sanità

Data dall' assenza di patogeni , parassiti e semi di infestanti. La sanità ha determinato il successo di substrati come la torba che per l' origine asfittica soddisfa in pieno questo requisito, o il successo dei substrati come l'argilla espansa, la perlite o la lana di roccia, originati da trattamenti termici ad alte temperature che garantiscono una certa sanità del materiale ottenuto. Sempre più spinto è l' uso di materiale certificato, che garantisce oltre alla sanità delle materie prime, l' assenza di sostanze tossiche come diserbanti o cloruri.

Costo e reperibilità

Caratteristiche fondamentali di un substrato sono la sua reperibilità nel mercato ed un costo non troppo elevato tale da poterne permettere l' utilizzo. In nazioni come la Francia o l'Olanda il substrato esausto non più usabile, è ritirato dalle ditte fornitrici del nuovo, mentre in Italia lo smaltimento del materiale esausto deve essere fatto da ditte specializzate con ulteriori costi.

Standardizzazione

Il miscuglio usato deve essere uniforme ed adattabile a tutti gli altri processi della filiera produttiva del vivaio. Tale caratteristica è elevata per i materiali ottenuti da processi industriali, o per le torbe; mentre è carente per prodotti misti come il compost, e i derivati della roccia vulcanica.

2.3 LE PROPRIETA' IDRAULICHE

Con il termine di curva di ritenzione idrica si intende la relazione che intercorre fra il contenuto di acqua ritenuto da un mezzo poroso (in questo caso il substrato) e la tensione con cui l'acqua è trattenuta (v. Figura 3). Avendo a che fare con dei substrati per colture in contenitore, il campo di variazione della tensione è molto ristretto, può arrivare a valori tra 0 e

Nella caratterizzazione dei substrati per la comprensione del comportamento idrico vengono determinati alcuni parametri (Figura 3) dalla curva di ritenzione idrica del substrato preso in esame:

- 1) capacità per l'acqua (contenuto idrico o ritenzione idrica) misurata a -10 hPa;
- 2) capacità per l'aria, alla tensione di -10 hPa, è la differenza tra la porosità e il contenuto idrico;
- 3) acqua facilmente disponibile è la differenza tra il contenuto idrico a -10 hPa e quello a -50 hPa.
- 4) acqua disponibile è la differenza tra il contenuto idrico a -10 hPa e quello a -100 hPa
- 5) acqua di riserva o tampone idrico è la differenza tra il contenuto idrico a -50 hPa e quello a -100 hPa.

Il tampone idrico indica la capacità del substrato di attenuare le variazioni di tensione (diminuzione sotto a -50 hPa) man mano che si asciuga e di consentire, conseguentemente, un certo adattamento fisiologico della pianta alla carenza idrica. Uno scarso potere tampone indica un maggior rischio di stress idrico per la pianta e suggerisce, quindi, una maggior cura nell'irrigazione.

Relazioni idriche del substrato di coltivazione

Analizzando il substrato di coltivazione si può parlare di “capacità di contenitore” che rappresenta il massimo contenuto di acqua per un substrato posto in un particolare contenitore; cioè la quantità d'acqua che il sistema substrato-contenitore trattiene dopo un'irrigazione fino a saturazione e successivo sgrondamento. In un contenitore, dopo l'irrigazione, quando l'acqua cessa di drenare significa che si è raggiunto un equilibrio di Ψ_w quindi il $\Psi_w = 0$, perché sul fondo permane uno strato d'acqua libera (a tensione nulla, assumendo come detto $\Psi_w = 0$).

Quindi, se il $\Psi_w = 0$, si avrà che $\Psi_m = -\Psi_g$ rispettando l'eq. ($\Psi_w = \Psi_m + \Psi_g$)

sul fondo del vaso avrò: $\Psi_m = -\Psi_g = 0$

ma ad una altezza H del vaso avrò $\Psi_m = -\Psi_g = -H$, quindi il contenuto idrico all'altezza H, cioè al potenziale matriciale (o tensione) pari a -H, è determinato dalla curva di ritenzione idrica caratteristica del substrato contenuto dal vaso. Ciò significa che ad ogni livello di substrato situato ad altezza crescente dal fondo corrisponde un contenuto di umidità via via

decescente (quindi, un contenuto d'aria crescente) e pari al valore che si può leggere sulla curva di ritenzione idrica per la altezza (tensione) prescelta. A seguito di questo fatto, per calcolare la capacità idrica del contenitore, basta pensare di sezionare il contenitore in "fettine" orizzontali di 2 cm circa di altezza, trovare il volume di ciascuna "fetta" (tronco di cono, di piramide o di prisma a seconda che il contenitore sia conico, a sezione circolare oppure piramidale, o prismatico) e moltiplicarlo per il contenuto volumetrico di acqua relativo alla altezza del suo baricentro dal fondo del contenitore. I rapporti aria/acqua nel substrato di coltivazione, quindi, dipendono sia dalle caratteristiche idrologiche del substrato sia dalla dimensione e dalla forma del contenitore. In generale, per qualsiasi substrato, minore è l'altezza del contenitore, maggiore è il rapporto acqua/ aria. Dunque, è l'altezza del contenitore che influenza la ripartizione fra aria/acqua dopo l'irrigazione, a parità di volume e di porosità, il rapporto volumetrico aria/acqua in un mezzo poroso, come un substrato, tende ad aumentare con l'altezza del sistema.

CAPITOLO 3: PARTE SPERIMENTALE

3.1 OBIETTIVI ED APPROCCIO SPERIMENTALE

La tesi riporta i risultati di una sperimentazione condotta nell'ambito del progetto di ricerca IDRI e del progetto ECO. IDRI. FLOR. presso il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie di Pisa, in collaborazione con il CNR-IBIMET di Firenze. La tesi aveva come obiettivo la valutazione tecnico-agronomica di diversi sistemi di irrigazione applicati alla coltivazione in vaso del geranio (*Pelargonium peltatum* L.). Sono state condotte due prove, una a carattere preliminare nella primavera del 2005 ed un'altra nell'anno seguente.

Nella prova condotta nel 2006 sono state confrontati diversi sistemi di coltivazione differenziati per: i) tecnica di distribuzione dell'acqua (G: irrigazione a goccia o S: subirrigazione); ii) metodo di pilotaggio automatico (O: orologio o temporizzatore o T: tensiometro); iii) recupero o meno delle acque di drenaggio (C: sistema chiuso o A: aperto); iv) salinità dell'acqua impiegata per preparare le soluzioni di fertirrigazione (A: acqua di pozzo con elevata salinità, con EC di 1.2-1.3 mS/cm, legata essenzialmente alla presenza di 9 mmol/L di NaCl, B: acqua piovana con valori di EC inferiori a 0.5 mS/cm). Nei sistemi a ciclo aperto con controllo basato sul temporizzatore, la frazione di drenaggio è stata intorno al 40%, mentre nelle tesi che utilizzavano il tensiometro oscillava tra il 5 ed il 10%: in questo tipo di controllo, l'irrigazione era avviata quando si raggiungeva un valore di tensione d'umidità nel substrato pari a -50 hPa.



Geranio "francesino" (*Pelargonium peltatum* L.)

3.2 MATERIALI E METODI

Sono state eseguite due prove (2005 e 2006) in serra utilizzando il geranio ricadente detto francesino (*Pelargonium peltatum* L.). I gerani utilizzati sono stati coltivati in vasi di plastica del diametro di 15 cm con una densità di coltivazione di 8 piante/m², utilizzando un substrato a base di terriccio universale commercialmente già preparato avente le caratteristiche riportate in tabella 1.

Tabella 1: Analisi fisica del substrato utilizzato nella prova con geranio. Le analisi fisiche sono state condotte dal Laboratorio MAC di Minoprio con il metodo EN 13041.

Parametro	Valore
Densità apparente Kg/cm ³	113.1
Densità reale Kg/cm ³	1669.5
Porosità totale % v/v	93.2
% aria a pF1 % v/v	17.3
% acqua a pF1 % v/v	75.9
Grado di restringimento % v/v	27.9
% acqua a pF 1,7 % v/v	47.7
% aria a pF 1,7 % v/v	45.5
% acqua a pF 2 % v/v	39.7
% aria a pF 2 % v/v	53.4
Acqua facil. disponibile % v/v	28.1
Acqua di riserva % v/v	7.9
Vol. d'acqua utilizzabile % v/v	36.1

La coltivazione è iniziata nel mese di dicembre con il trapianto delle talee: per circa 20 gg, per favorirne l'acclimatazione alle condizioni della serra e la radicazione nella fase iniziale, è stata somministrata solo acqua. Sono stati effettuati alcuni trattamenti con fungicidi specifici per la protezione dal marciume del colletto. Trascorso il primo periodo di acclimatamento si è iniziato a somministrare la soluzione nutritiva dando inizio alla sperimentazione. Il periodo

sperimentale della coltura è iniziato a metà Gennaio ed è continuato fino all'ottenimento del prodotto finito (fioritura) avvenuta a circa metà Aprile.



Piante di geranio ad inizio coltivazione.

Per la coltivazione si sono utilizzati dei piccoli impianti sperimentali costituiti da un bancale inclinato che ha permesso il recupero del drenato e la sua raccolta in un mixing-tank della capacità di 50 litri (nei cicli chiusi) oppure in taniche graduate, periodicamente svuotate dal drenato raccolto (nei cicli aperti).

TRATTAMENTI A CONFRONTO

Lo schema sperimentale per il geranio della prova 2006 ha previsto le seguenti fonti di variabilità:

1. tipo di irrigazione
2. controllo e pilotaggio dell'irrigazione
3. qualità dell'acqua

1) Tipo di irrigazione: a goccia aperto,GA; a goccia chiuso,GC; subirrigazione per scorrimento su canaletta,SC; (Figura 5).

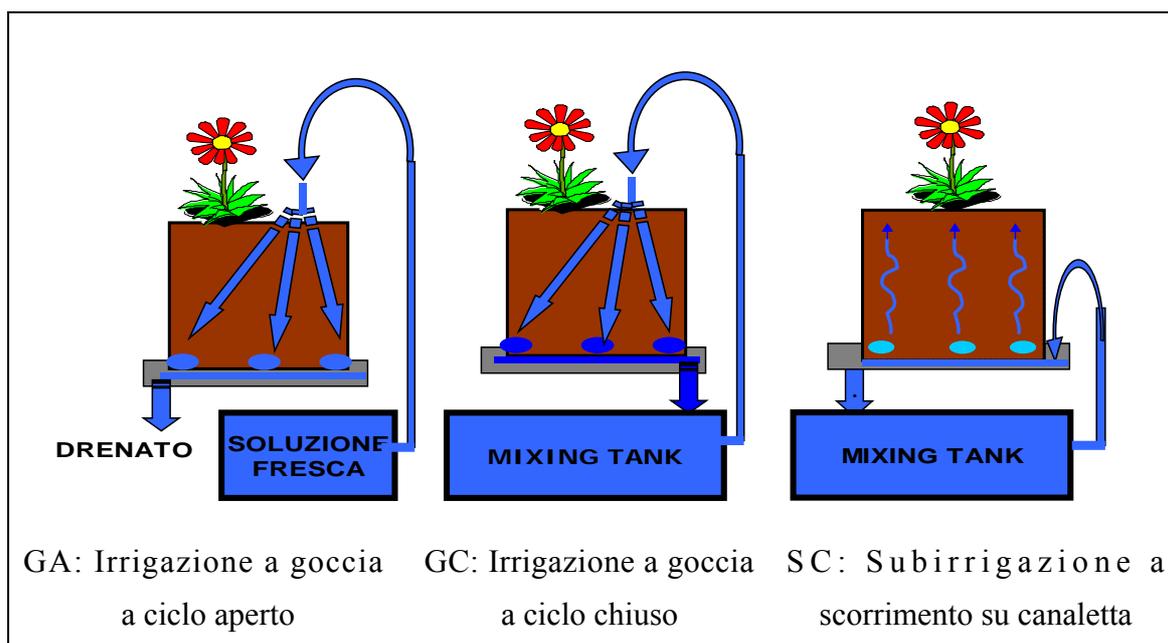


Figura 5: rappresentazione schematica dei diversi sistemi di irrigazione.

2) *Il sistema di controllo dell'irrigazione* : è stato gestito con due differenti metodi: prefissato con orologio, O; o con tensiometro, T.

L'orologio o timer che regolava gli interventi irrigui nella tesi a ciclo aperto è stato programmato per effettuare 1 somministrazione giornaliera nella fase iniziale del ciclo e 2 somministrazioni giornaliere nella fase finale del ciclo colturale in cui i consumi idrici erano maggiori. Nel ciclo aperto, ciascun intervento aveva una durata di 6 minuti, mentre nel sistema a ciclo chiuso la durata dell'irrigazione era di 10 minuti. Nelle tesi con irrigazione a goccia, l'irrigazione era assicurata da un gocciolatore autocompensante per ogni vaso della capacità di 2 L/h, pari ad erogazioni di circa 210 ml di acqua per intervento irriguo nel ciclo aperto, che corrispondevano ad una somministrazione di circa 1.6 (1 intervento al giorno) o 3.2 mm (2 interventi al giorno).

Nelle tesi a ciclo aperto con orologio, la durata e il numero degli interventi irrigui è stata modificata all'occorrenza in base all'andamento climatico e al drenato prodotto dagli interventi precedenti, in modo da ottenere una frazione di drenaggio medio di circa il 40%. Nelle tesi a ciclo chiuso gli interventi erano di 10 minuti per avere una frazione di lisciviazione del 60 ÷ 70%.

Per la gestione automatica dell'irrigazione attraverso l'uso di tensiometri posizionati all'interno del substrato, è stato utilizzato un sistema sviluppato dal CNR-IBIMET.

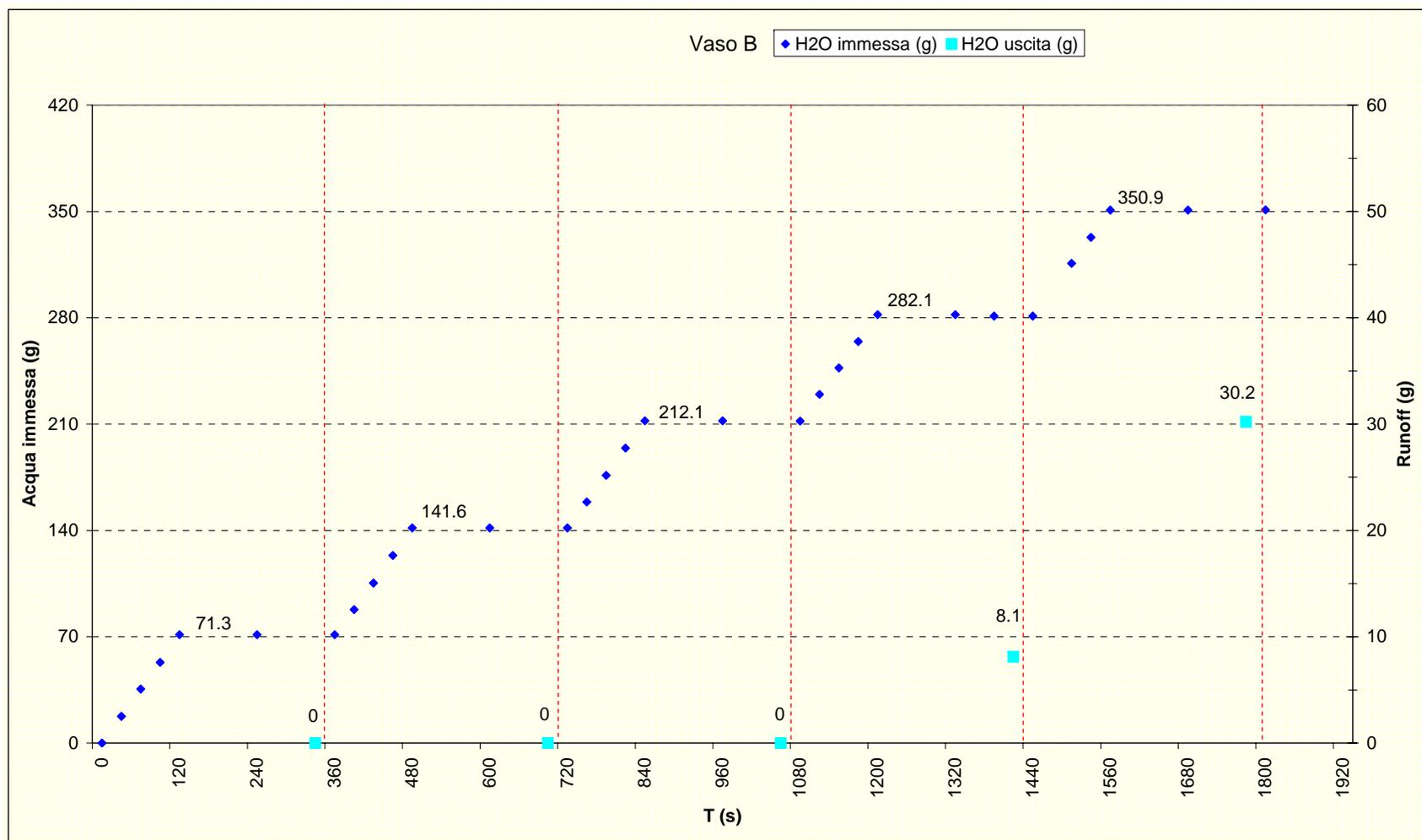


Figura 6: Andamento del drenaggio in relazione al frazionamento della dose e al tempo di somministrazione. Si può notare come dopo la terza somministrazione si presenta un certo valore di runoff.

Il prototipo, in funzione dei dati tensiometrici ha consentito la gestione, mediante relé, delle elettrovalvole poste nell'impianto irriguo, una per ciascuna tesi da controllare. Il software sviluppato permetteva di inserire la soglia di attivazione dell'irrigazione, il numero di tensiometri da controllare, i tempi di durata di attivazione e disattivazione delle elettrovalvole (ciclo di irrigazione) al fine di distribuire la quantità d'acqua dell'intervento irriguo decisa all'inizio della prova per ciascuna tesi. I tensiometri impiegati nella prova sono stati quelli della Skye Instruments (UK) mod. SKTM 650. La prova sperimentale in serra è stata preceduta da una serie di prove di laboratorio per l'individuazione della soglia di intervento e la modalità di distribuzione dell'acqua di ciascun intervento irriguo (dose unica o frazionata) al fine di avere valori di runoff ridotti (Figura 6).

Per favorire il corretto umettamento del vaso si è proposto un intervento irriguo di circa 210 ml frazionato, in 3 dosi di 70g distribuite in cicli di 2 minuti (2' irrigazione ON – 4' pausa irrigazione per permettere all'acqua somministrata di imbibire tutto il substrato). Nelle tesi a ciclo aperto, gestite da tensiometri, la quantità di soluzione nutritiva somministrata prevedeva una frazione di drenaggio del 5%. Nelle tesi pilotate dai tensiometri l'irrigazione era attivata quando la media delle misurazioni di due tensiometri superava il valore soglia di -50 hPa, e per ciascuna tesi l'intervento irriguo era effettuato nel seguente modo:

- A) goccia, ciclo chiuso: irrigazione per 10' (impianti GCTA e GCTB)
- B) Subirrigazione : flusso idrico per 16 '(impianti SCTB e SCTA)
- C) goccia, ciclo aperto: tre cicli irrigui (2' acqua - 4' pausa) per un totale di 6'=210g (impianto GATA e GATB).

Dopo ogni irrigazione il sistema imponeva un blocco irriguo di 1 ora. Il sistema acquisiva ogni minuto i dati dei tensiometri, verificando ogni 10' il raggiungimento del valore di soglia e memorizzando i relativi dati.

Oltre al sistema sopradescritto nella serra era stato installato un altro datalogger (Delta T Devices), con il quale si registravano, ogni 5', i valori medi dei dati di temperatura e umidità dell'aria, radiazione globale e temperatura del substrato. Inoltre il sistema acquisiva anche i dati di tensiometri posti nelle seguenti tesi pilotate con Timer al fine di monitorare il contenuto idrico del substrato di questi trattamenti:

- impianto a subirrigazione su canaletta con tensiometro a bassa salinità (tens. MT46);
- impianto goccia aperto con tensiometro alta salinità (MT1);
- impianto goccia aperto con tensiometro bassa salinità (MT2);

- impianto goccia aperto orologio bassa salinità (MT44);
- impianto subirrigazione su canaletta orologio a bassa salinità (MT4).



Collegamento dei tensiometri al computer tramite il tattletale ed il delta T.

Il Datalogger era collegato ad un PC tramite una porta seriale RS 232 per il periodico scarico dei dati raccolti. La mole di dati archiviati è stata notevole, basti pensare che ogni ora la memoria si arricchiva di 108 valori e di 2592 nell'arco delle ventiquattro ore. Al computer è stato collegato un modem GSM che ha permesso l'acquisizione di dati da una stazione remota. Tutto il sistema è stato alimentato tramite una batteria da 12 volt e 70 Ah, automaticamente ricaricata da un caricabatteria da 12 volt.

3)Qualità dell'acqua:

Per le prove si sono usati due tipi di acqua, una di pozzo con alta salinità (circa 1.3 mS/cm) (A), l'altra di origine piovana raccolta dalle falde della serra, caratterizzata per il fatto di avere una bassa salinità (B).

Abbinata all'irrigazione è stata praticata la fertirrigazione effettuata con soluzioni nutritive opportunamente calcolate sulle diverse acque in modo da ottenere soluzioni nutritive diversificate solo per il contenuto in Na^+ (tabella 2):

Tabella 2: principali elementi delle soluzioni circolanti utilizzate.

ACQUA	N- NO_3^- meq/L	P- H_2PO_4^- meq/L	Na^+ meq/L	K^+ meq/L	Ca^{++} mE	Mg^{++} mE	EC mS/cm	pH
A	7,8	0,9	9	3,9	5,7	2,4	2,3	5,5
B	7,8	0,9	0,5	4,2	5	2,4	1,4	5,5

Ogni giorno, la soluzione evapotraspirata era reintegrata automaticamente con soluzione nutritiva fresca (tecnica della reintegrazione con EC variabile e nutrienti costante). Con questo tipo di reintegrazione, il livello di nutrienti rimane pressoché costante, mentre aumenta l'EC della soluzione ricircolante come effetto principale dell'accumulo di sodio non assorbito dalla coltura. La EC ed il pH delle soluzioni ricircolanti erano monitorate due volte a settimana; al superamento del valore di EC di 3,5 mS/cm assunta come soglia di EC massima tollerabile dalla coltura senza riduzioni di produzione, si effettuava la sostituzione della soluzione ricircolante contenuta nel mixing tank, pari a circa 50 litri con la produzione di runoff.

Dalla combinazione imperfetta, dei tre fattori di variabilità fin ora esaminati abbiamo ottenuto 12 diversi trattamenti identificati da una sigla di 4 lettere, utilizzando la seguente legenda:

- metodo irriguo: goccia a ciclo aperto (GA), i. goccia a ciclo chiuso (GC); subirrigazione per scorrimento su cabaletta (SC);
- Tipo di controllo: orologio (O) o tensiometro (T)
- Salinità dell'acqua irrigua: alta (A) o bassa (B)

Queste sono le 12 sigle: GAOA; GATA; GCOA; GCTA; SCOA; SCTA; GAOB; GATB; GCOB; GCTB; SCOB; SCTB.

La Figura 7 mostra la disposizione dei trattamenti nella serra sperimentale.

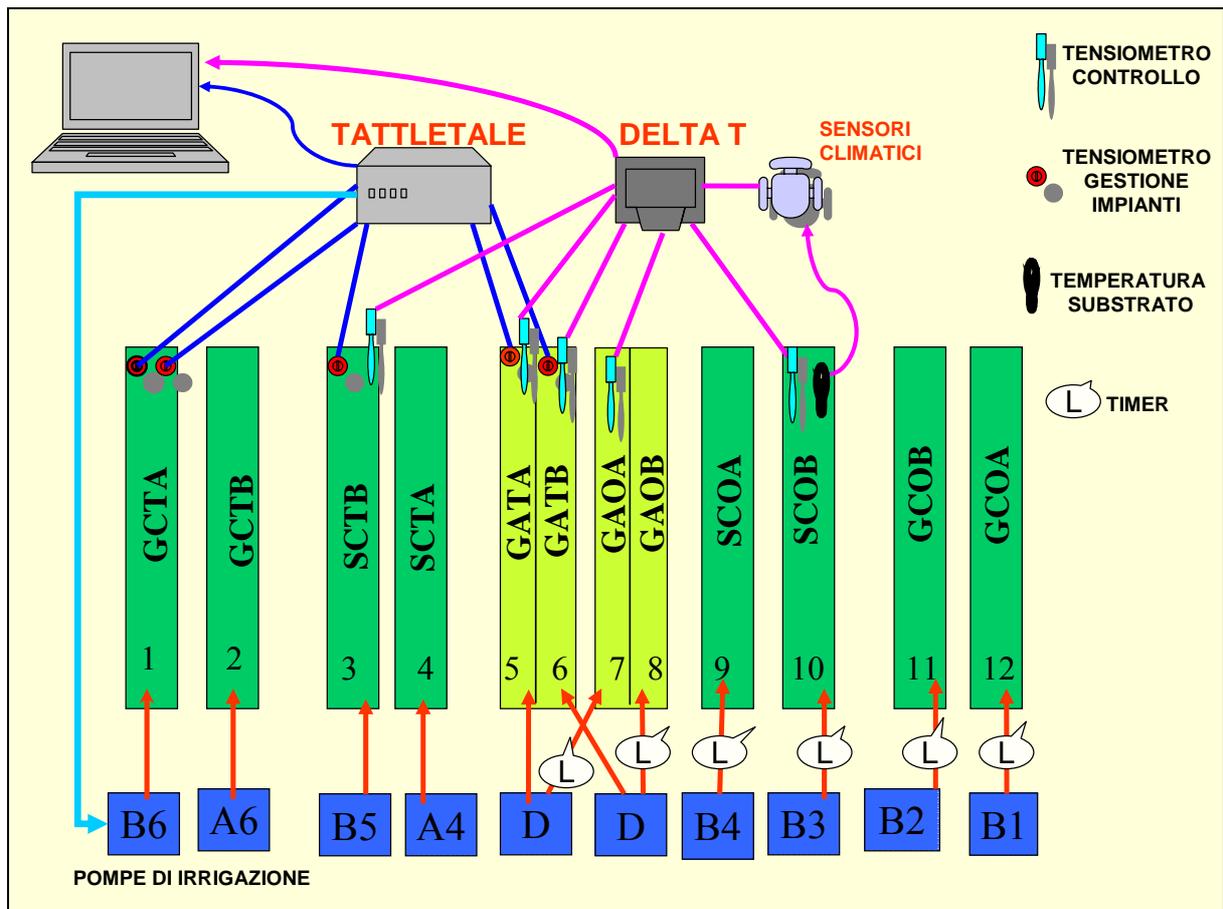


Figura 7: disposizione dei trattamenti e schema di gestione e controllo dell'irrigazione.

3.3 RILIEVI EFFETTUATI

Durante tutto il ciclo colturale sono stati effettuati prelievi settimanali delle soluzioni nutritive ricircolanti negli impianti a ciclo chiuso e dei drenaggi degli impianti a ciclo aperto. Tutti i prelievi sono stati filtrati, catalogati e analizzati. Sono stati misurati il pH e l'EC con strumenti da banco, il Na^+ e il K^+ con un fotometro a fiamma, il Ca^{++} ed il Mg^{++} mediante titolazione con EDTA. La determinazione dei nitrati nelle soluzioni nutritive è stata effettuata con il metodo dell'acido salicil-solforico (Cataldo et al 1975), con lettura allo a 410nm. I fosfati sono stati determinati fotometricamente utilizzando il metodo del molibdato d'ammonio con lettura a 690nm.

Ogni due giorni si sono effettuate anche le letture dei contaltri montati sulle linee di rabbocco dei mixing tank e nei bidoni di raccolta di drenaggio negli impianti a ciclo aperto.

Periodicamente sono state anche campionate le soluzioni nutritive fresche utilizzate per il rabbocco dei mixing tank.

Durante le fasi di crescita vegetativa sono state eseguite alcune operazioni colturali come la cimatura ed il tutoraggio della parte epigea, mediante apposita rete di plastica.

Alla fine del ciclo colturale (10 aprile 2006), è stata eseguita una analisi di crescita su un campione di 4 piante per ciascuna delle 12 tesi, per un totale di 48 piante. Sono state effettuate le seguenti misure (solo sulla parte epigea delle piante): numero di rami principali e secondari, numero di foglie, peso fresco e secco (dopo essiccazione a 70 °C, fino all'ottenimento di un peso costante) sia delle foglie che dei fusti.

L'area fogliare totale è stata stimata misurando l'area fogliare di un sub-campione di foglie della stessa pianta (almeno 30 foglie), attraverso un planimetro (Delta T Device, U.K.), registrando il peso secco del sub-campione. L'area fogliare totale della pianta è stata calcolata attraverso l'indice di area fogliare per unità di peso secco moltiplicato per il peso secco totale delle foglie della pianta.

Sono state effettuate analisi sul contenuto minerale di azoto organico, sodio e potassio delle foglie, utilizzando un metodo mini- Kjeldahl per la determinazione dell'azoto organico e ammoniacale. Sia l'azoto nitrico che il sodio e il potassio sono stati determinati su un estratto acquoso della sostanza vegetale (solo foglie), utilizzando il metodo dell'acido salicil-solfurico per il nitrato e il metodo fotometrico per il sodio e potassio.

Allo scopo di valutare le differenze nella salinità presente nella zona radicale indotta dai vari sistemi irrigui e/o dalla qualità dell'acqua utilizzata, sono state effettuate analisi sugli estratti acquosi dei substrati, suddivisi in parte superiore (A) e parte inferiore (B) del vaso. In pratica si è effettuata una estrazione in peso 1:10 con acqua distillata, della durata di due ore (su agitatore meccanico): nel calcolo dell'acqua da aggiungere al substrato per l'estrazione si è tenuto conto dell'umidità del substrato stesso determinata precedentemente attraverso il metodo della doppia pesata (asciugatura in stufa a 105°C fino a ottenimento di peso costante). In tutti i campioni sono stati misurati i valori di pH ed EC con strumenti da banco e con lo spettrofotometro a fiamma la concentrazione di Na⁺ e K⁺.

Per l'intero ciclo colturale inoltre sono stati acquisiti automaticamente dal datalogger Delta T i dati relativi alle condizioni ambientali ed in particolare la temperatura atmosferica (Ta); la temperatura del substrato (Ts) di un vaso campione; l'umidità relativa (UR) e la radiazione globale (RG). Tali dati sono di seguito rappresentati.(Figura 8 e 9)

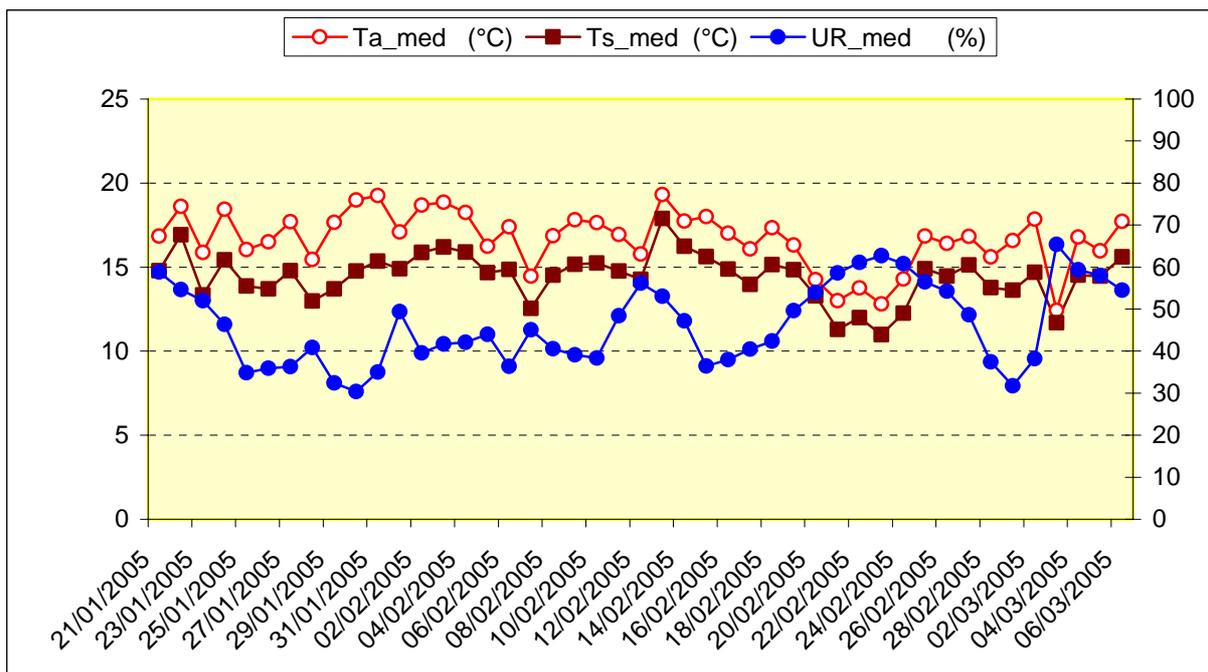


Figura 8: andamento della temperatura e dell'umidità durante il ciclo colturale.

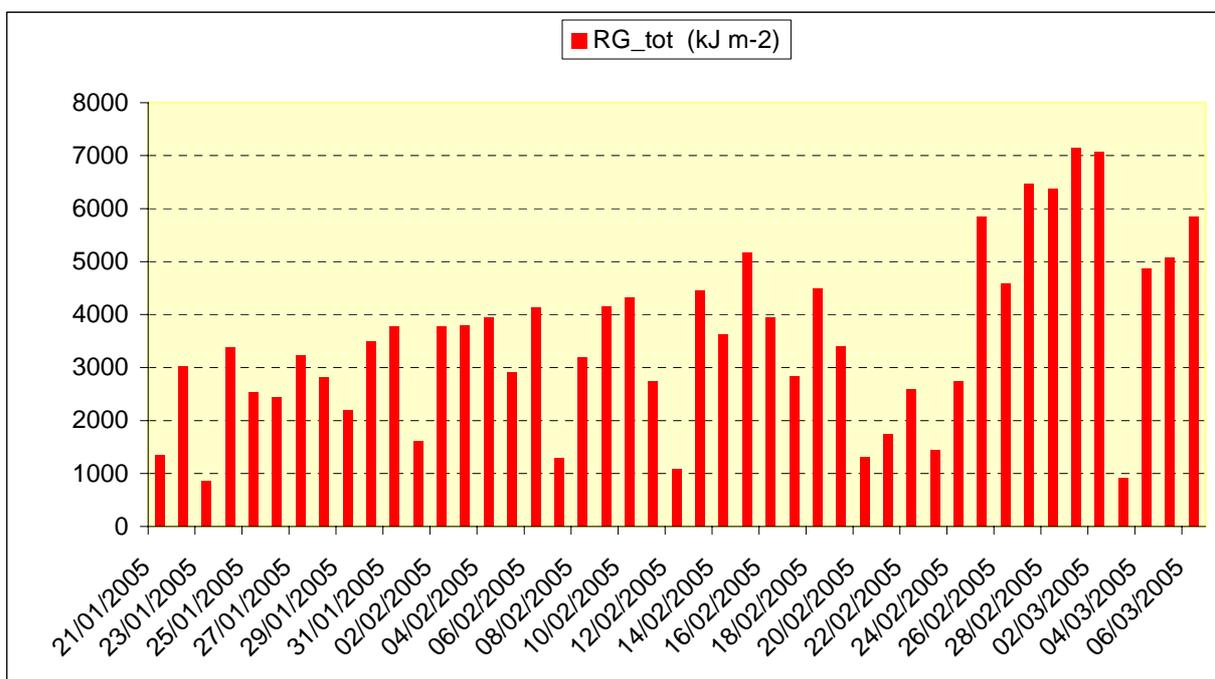


Figura 9: andamento della radiazione solare durante il ciclo colturale espressa in kJ m⁻².

ANALISI STATISTICA

I risultati ottenuti dalle analisi che sono state eseguite su più repliche sono stati elaborati calcolandone la media e la deviazione standard. Su predetti valori è stata effettuata l'analisi della varianza (ANOVA) utilizzando due fonti di variabilità (imponendo come 1° fattore: sistema irriguo e come 2° fattore: sistema di controllo). Successivamente è stato effettuato il test della MDS (Minima Differenza Significativa) con $P < 0,05$ per la separazione statistica delle medie.

3.4 RISULTATI E DISCUSSIONE

Rielaborando i dati acquisiti dalle letture dei contatori che monitoravano il flusso delle soluzioni nutritive è stato determinato il bilancio idrico colturale, ed in particolare sono stati registrati i consumi idrici (espressi come mm con il sesto di coltivazione di 8 piante a m^2); l'evapotraspirazione effettiva, il volume di acqua persa per drenaggio e quindi la frazione di drenaggio (Tabella 3).

Nelle tesi a ciclo aperto GAOA; GATA; GAOB; GATB, si sono rilevati i consumi idrici maggiori; tuttavia, i valori di ETE sono stati simili a quelli delle tesi a ciclo chiuso e quindi i sistemi a ciclo aperto sono stati quelli con la più bassa efficienza idrica e nutritiva e quelli con maggior impatto ambientale, come confermato in bibliografia (Van Os et al 1994). In alcune tesi, nonostante l'adozione del ciclo chiuso, si può notare un certo valore di drenato; tale valore e da imputare ad interventi di sostituzione della soluzione nutritiva poiché la CE di questa aveva raggiunto la soglia massima tollerabile di 3,5 mS/cm. Figura 10

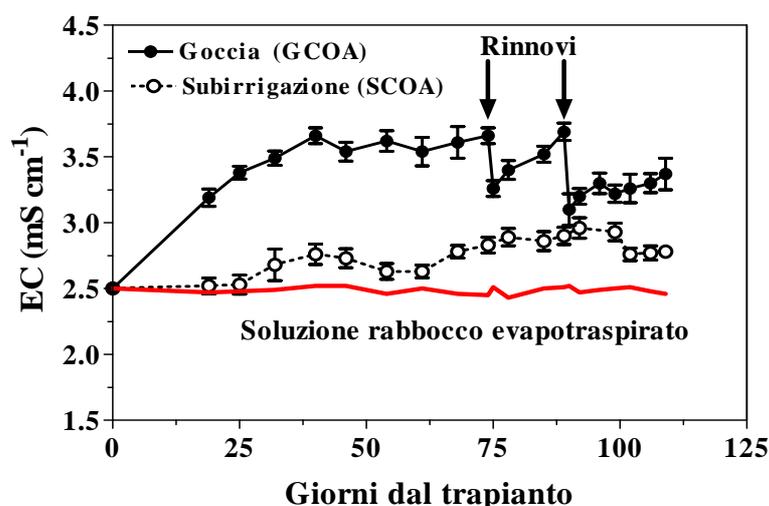


Figura 10: andamento della EC delle soluzioni nutritive in due tesi una irrigata con l'impianto a goccia e l'altra con la subirrigazione.

Se analizziamo nel dettaglio l'andamenti della CE delle soluzioni nutritive nella tesi irrigate a goccia a ciclo chiuso ad alta salinità (GCOA), possiamo notare come con il trascorrere del tempo si verifica un innalzamento della salinità imputabile ad un accumulo di ioni non essenziali per la coltura; il potassio infatti non ha subito un accumulo perché è stato assorbito dalla coltura. Al raggiungimento della soglia limite è stato necessario rinnovare la soluzione nutritiva, per evitare di avere delle riduzioni della produzione. Nella subirrigazione il flusso quasi unidirezionale dell'acqua dall'esterno verso l'interno del substrato, tipico di questo sistema irriguo, ha preservato la soluzione nutritiva dai fenomeni di salinizzazione progressiva, a scapito del substrato stesso.

Con i dati ottenuti dalle analisi chimiche delle soluzioni nutritive è stato possibile compilare un bilancio nutritivo calcolando le asportazioni lorde della coltura (comprehensive sia della quantità realmente asportata dalla coltura sia della quantità eventualmente precipitata o trattenuta nel substrato) in g/m^2 riferite all'intero ciclo colturale. L'assorbimento minerale (apparente) della coltura, riportato nella tabella 4, è stato calcolato per differenza tra gli elementi apportati con la soluzione nutritiva con quelli persi con il drenaggio.

Tabella 3: bilancio idrico colturale del geranio nella sperimentazione del 2006.

NOME	Consumo idrico mm	ETE mm	Runoff mm	Frazione di lisciviazione
GAOA	194,00 (100%)	88,00	106,00	0,55
GATA	99,50 (51%)	83,50	16,00	0,16
GCOA	94,00 (48%)	69,00	25,00	0,27
GCTA	79,50 (40%)	67,00	12,50	0,16
SCOA	83,75 (43%)	83,75	0,00	0,00
SCTA	85,00 (44%)	85,00	0,00	0,00
<hr/>				
GAOB	193,50 (99%)	86,25	107,25	0,55
GATB	118,00 (60%)	92,00	26,00	0,22
GCOB	74,25 (38%)	74,25	0,00	0,00
GCTB	79,50 (40%)	79,50	0,00	0,00
SCOB	82,00 (42%)	82,00	0,00	0,00
SCTB	89,75 (46%)	89,75	0,00	0,00

Osservando i valori riportati nella tabella 4 possiamo notare che grosse differenze si verificano solo per il sodio: infatti, nelle tesi irrigate con acqua di buona qualità questo elemento si è accumulato poco, mentre nelle tesi irrigate con acqua di mediocre qualità si nota un marcato assorbimento di Na^+ nel sistema coltura-substrato.

È stato osservato anche un elevato assorbimento di Na^+ nelle tesi subirrigate (circa 15 g/m^2), seguite dalle tesi con irrigazione a ciclo aperto a goccia (circa 12 g/m^2) e dalle tesi a ciclo chiuso a goccia (circa 9 g/m^2). Dalla tabella 4, appare evidente nelle tesi GCOA GCTA un minore assorbimento di tutti gli elementi presi in esame: questo minore assorbimento viene in parte spiegato dalla minor crescita delle piante (Tabelle 5 e 6)..

Tabella 4: Quantità di elementi minerali assorbiti dalla coltura, espressa in g/m^2 , determinate attraverso il bilancio idrico e minerale, cioè per differenza tra il prodotto dei volumi di acqua per le rispettive concentrazioni ioniche somministrati con l'irrigazione e quelli dispersi con il runoff.

TESI	N-NO₃⁻ (g/m²)	P-H₂PO₄⁻ (g/m²)	Na⁺ (g/m²)	K⁺ (g/m²)	Ca⁺⁺ (g/m²)	Mg⁺⁺ (g/m²)
GAOA	8,22	2,35	13,10	13,48	12,83	4,66
GATA	9,24	2,43	12,68	12,90	17,73	4,78
GCOA	5,59	1,54	9,38	9,18	7,77	3,71
GCTA	6,87	1,77	9,42	9,64	9,30	3,85
SCOA	8,60	2,14	15,55	12,20	18,33	5,02
SCTA	8,82	2,19	15,94	12,73	18,74	5,12
GAOB	9,71	2,74	0,91	15,75	10,44	4,28
GATB	10,35	3,05	2,33	15,73	16,13	4,89
GCOB	8,10	2,59	1,23	12,28	11,95	4,11
GCTB	8,82	2,58	1,76	13,67	14,42	4,57
SCOB	9,06	2,69	1,93	13,92	16,20	4,31
SCTB	9,83	2,87	2,14	14,97	17,21	5,14

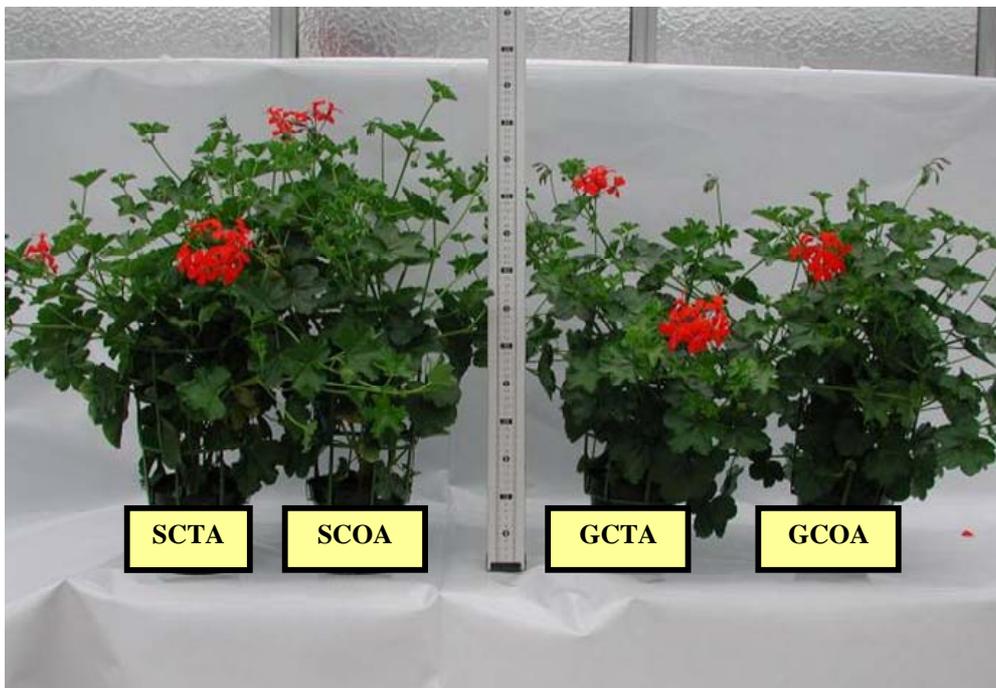
Tabella 5 : influenza sulla crescita vegetativa dell'impianto di irrigazione con acqua ad alta salinità sulla coltivazione di geranio

TESI	GAOA	GATA	GCOA	GCTA	SCOA	SCTA
N. rami	17,2 ± 0,5 BC	19,8 ± 3,5 A	13,5 ± 2,1 C	16,8 ± 3,8 B	20,5 ± 2,6 A	16,8 ± 2,1 B
Fusti (g, FW)	123,8 ± 8,1 BC	129,8 ± 17,7 B	86,0 ± 6,1 D	111,3 ± 1,4 C	147,4 ± 4,0 A	118,1 ± 12,6 BC
Fusti (g, DW)	16,9 ± 1,9 B	16,5 ± 2,5 B	11,4 ± 1,3 C	14,5 ± 1,1 B	19,5 ± 0,7 A	15,9 ± 2,1 B
Foglie (g, FW)	172,9 ± 8,20 B	194,3 ± 21,4 A	117,9 ± 7,9 C	149,7 ± 6,1 B	190,0 ± 9,7 A	162,1 ± 1,1 B
Foglie (g, DW)	16,7 ± 1,30 AB	17,5 ± 2,4 A	10,6 ± 1,0 C	13,4 ± 1,1 B	16,6 ± 1,8 AB	14,8 ± 0,3 B
Area Foglie	3673,5 ± 209,3 AB	4178,8 ± 680,7 A	2453,8 ± 376,9 C	2917,1 ± 390,6 BC	4158,5 ± 641,1 A	3165,6 ± 766,2 B
Peso tot. (g FW)	297,7 ± 15,1 AB	324,1 ± 39,1 A	203,8 ± 13,9 C	260,9 ± 5,0 B	337,4 ± 12,3 A	280,1 ± 10,8 B
Peso tot. (g DW)	33,6 ± 3,2 AB	34,0 ± 4,2 AB	22,0 ± 2,3 C	27,8 ± 2,0 B	36,0 ± 1,7 A	30,7 ± 6,1 B

Tabella 6 : influenza sulla crescita vegetativa dell'impianto di irrigazione con acqua a bassa salinità sulla coltivazione di geranio

TESI	GAOB	GATB	GCOB	GCTB	SCOB	SCTB
N. rami	19,8 ± 3,1 A	18,3 ± 0,6 A	18,0 ± 1,7 A	17,3 ± 2,6 A	17,3 ± 2,8 A	15,7 ± 7,8 A
Fusti (g, FW)	137,9 ± 19,8 A	126,1 ± 7,3 AB	128,5 ± 20,0 AB	114,6 ± 13,6 B	119,1 ± 14,2 B	119,9 ± 28,2 B
Fusti (g, DW)	19,4 ± 2,6 A	16,7 ± 0,7 B	18,1 ± 3,3 AB	13,7 ± 0,8 C	15,0 ± 2,0 BC	15,1 ± 2,6 BC
Foglie (g, FW)	182,8 ± 33,9 AB	190,5 ± 7,6 A	165,8 ± 18,2 B	171,8 ± 7,2 B	161,1 ± 16,0 B	188,4 ± 20,1 AB
Foglie (g, DW)	17,1 ± 3,9 A	16,7 ± 0,4 A	14,2 ± 2,8 B	15,1 ± 0,5 AB	14,5 ± 1,1 B	15,7 ± 3,5 AB
Area Foglie	3867,5 ± 744,4 AB	4083,6 ± 514,3 A	3337,9 ± 644,1 B	3370,2 ± 420,4 B	3395,0 ± 274,7 B	3594,2 ± 707,7 AB
Peso tot. (g FW)	320,7 ± 40,2 A	316,5 ± 6,8 AB	294,3 ± 37,9 AB	286,3 ± 20,8 B	280,2 ± 11,9 B	308,3 ± 11,8 AB
Peso tot. (g DW)	36,4 ± 5,5 A	33,4 ± 0,5 AB	32,2 ± 6,0 AB	28,7 ± 1,4 B	29,4 ± 0,5 B	30,7 ± 2,0 B

L'analisi di crescita ha evidenziato che solo nelle tesi irrigate con acqua ad alta salinità a ciclo chiuso (GCOA e GCTA) si è avuta una riduzione significativa della crescita. Tale effetto è imputabile probabilmente ad una più veloce salinizzazione del substrato avvenuta nella fase iniziale di coltivazione, dovuta alla elevata frazione di drenaggio tipica di queste tesi, la quale potrebbe aver favorito un'alterazione della soluzione circolante. In queste tesi a ciclo chiuso la frazione di drenaggio ad ogni irrigazione era elevata; tale condizione ha favorito un dilavamento del substrato con un rapido innalzamento della EC della soluzione ricircolante e di conseguenza del substrato stesso, creando delle condizioni sfavorevoli allo sviluppo vegetativo, in particolare nella fase di massimo accrescimento. Di conseguenza le piante di queste tesi sono cresciute meno rispetto alle piante irrigate in altro modo. Quando è stata usata acqua di buona qualità non ci sono state differenze di crescita apprezzabili legate al sistema irriguo e al metodo di controllo dell'intervento irriguo.



Differenze nella crescita tra le diversi tesi a confronto.

A fine ciclo, le piante sono state campionate ed analizzate per la concentrazione dei vari elementi minerali sulla sostanza secca delle foglie. I dati sono riportati nella Tabella 7.

Il contenuto di N non è stato influenzato in modo apprezzabile dai trattamenti irrigui e gli stessi risultati sono stati registrati per il K, ad eccezione di una significativa riduzione osservata nella tesi SCOA.

Tabella 7: concentrazione di N, Na e K nella sostanza secca delle foglie delle piante di geranio coltivate con diversi sistemi di irrigazione.

TESI	GAOA	GATA	GCOA	GCTA	SCOA	SCTA
N (%)	3,43 ± 0,10 C	3,59 ± 0,26 B	3,92 ± 0,03 A	3,87 ± 0,07 AB	3,85 ± 0,03 AB	3,73 ± 0,02 B
Na (%)	0,32 ± 0,03 C	0,31 ± 0,19 C	0,49 ± 0,10 BC	0,46 ± 0,05 BC	0,78 ± 0,03 A	0,57 ± 0,26 B
K (%)	3,54 ± 0,18 A	3,73 ± 0,28 A	3,52 ± 0,16 A	3,41 ± 0,11 A	2,80 ± 0,13 B	3,32 ± 0,18 A
TESI	GAOB	GATB	GCOB	GCTB	SCOB	SCTB
N (%)	3,61 ± 0,22 BC	3,55 ± 0,24 BC	4,05 ± 0,15 A	3,74 ± 0,11 B	3,46 ± 0,32 C	3,62 ± 0,07 BC
Na (%)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
K (%)	3,39 ± 0,22 B	3,71 ± 0,46 AB	3,47 ± 0,26 B	3,94 ± 0,09 A	3,93 ± 0,16 A	4,00 ± 0,47 A

Tabella 8: parametri principali analizzati nel substrato di coltivazione dei gerani irrigati con acqua ad alta e bassa salinità. I dati si riferiscono ad analisi condotte a fine ciclo.

TESI	GAOA	GATA	GCOA	GCTA	SCOA	SCTA
pH	6,69 ± 0,29 BC	6,80 ± 0,42 B	6,37 ± 0,24 C	6,40 ± 0,29 C	7,12 ± 0,36 A	6,56 ± 0,62 BC
EC (mS/cm)	5,37 ± 1,47 C	6,48 ± 1,34 C	5,14 ± 1,30 C	6,34 ± 1,47 C	10,83 ± 1,44 A	9,40 ± 3,61 B
Na (mM)	30,17 ± 6,90 CD	38,20 ± 9,15 C	25,22 ± 4,48 D	30,80 ± 6,90 CD	63,68 ± 8,35 A	51,59 ± 20,00 B
K (mM)	5,76 ± 1,07 C	3,53 ± 1,59 CD	2,48 ± 1,16 D	4,56 ± 1,07 C	9,08 ± 1,46 A	7,14 ± 3,09 B
TESI	GAOB	GATB	GCOB	GCTB	SCOB	SCTB
pH	6,30 ± 0,29 A	6,47 ± 0,44 A	6,47 ± 0,32 A	6,30 ± 0,29 A	6,47 ± 0,44 A	6,47 ± 0,32 A
EC (mS/cm)	2,32 ± 1,10 B	3,03 ± 0,73 B	3,11 ± 0,45 B	2,32 ± 1,10 B	3,03 ± 0,73 B	3,11 ± 0,45 B
Na (mM)	3,13 ± 2,31 B	3,52 ± 1,31 B	3,58 ± 0,72 B	3,13 ± 2,31 B	3,52 ± 1,31 B	3,58 ± 0,72 B
K (mM)	3,30 ± 1,53 C	3,20 ± 0,93 C	4,01 ± 0,71 BC	3,30 ± 1,53 C	3,20 ± 0,93 C	4,01 ± 0,71 BC

Tabella 9: parametri analizzati nella parte alta e bassa del substrato di coltivazione dei gerani irrigati con acqua ad alta salinità. I dati si riferiscono ad analisi condotte a fine ciclo.

TESI	Posizione	GAOA	GATA	GCOA	GCTA	SCOA	SCTA
pH	Superiore	6,49 ± 0,05 D	6,72 ± 0,37 CD	6,29 ± 0,23 E	6,16 ± 0,14 EF	6,81 ± 0,19 CD	5,99 ± 0,01 F
	Inferiore	6,83 ± 0,04 CD	6,89 ± 0,50 C	6,46 ± 0,25 D	6,64 ± 0,13 D	7,43 ± 0,10 A	7,14 ± 0,13 B
EC (mS/cm)	Superiore	7,04 ± 0,47 C	7,62 ± 0,67 C	6,17 ± 1,01 D	7,63 ± 0,70 C	11,85 ± 0,91 A	12,61 ± 1,59 A
	Inferiore	3,70 ± 0,10 F	5,34 ± 0,52 E	4,10 ± 0,30 F	5,05 ± 0,29 E	9,80 ± 1,10 B	6,18 ± 0,61 D
Na (mM)	Superiore	39,20 ± 5,53 D	43,90 ± 9,14 C	28,89 ± 3,62 E	35,71 ± 6,63 D	70,30 ± 3,17 A	68,80 ± 10,76 A
	Inferiore	21,15 ± 0,98 E	32,50 ± 5,04 DE	21,94 ± 1,21 F	25,89 ± 1,65 E	57,06 ± 5,99 B	34,39 ± 5,28 D
K (mM)	Superiore	3,98 ± 0,45 D	4,94 ± 0,74 CD	3,41 ± 0,60 E	5,50 ± 0,46 C	9,23 ± 2,14 AB	9,85 ± 1,59 A
	Inferiore	1,75 ± 0,74 F	2,11 ± 0,22 F	1,55 ± 0,60 F	3,61 ± 0,31 D	8,93 ± 0,58 B	4,43 ± 0,30 D

Tabella 10: parametri analizzati nella parte alta e bassa del substrato di coltivazione dei gerani irrigati con acqua a bassa salinità. I dati si riferiscono ad analisi condotte a fine ciclo.

TESI	Posizione	GAOB	GATB	GCOB	GCTB	SCOB	SCTB
pH	Superiore	6,05 ± 0,16 CD	6,12 ± 0,27 C	6,24 ± 0,27 C	6,01 ± 0,01 C D	5,38 ± 0,41 E	5,81 ± 0,29 D
	Inferiore	6,55 ± 0,07 B	6,83 ± 0,23 A	6,71 ± 0,15 A	6,55 ± 0,21 B	6,45 ± 0,38 BC	6,65 ± 0,14 ^A _B
EC (mS/cm)	Superiore	3,30 ± 0,51 C	3,61 ± 0,59 C	3,10 ± 0,51 D	2,84 ± 0,14 DE	6,75 ± 0,76 A	5,65 ± 0,46 B
	Inferiore	1,34 ± 0,14 F	2,45 ± 0,11 E	3,12 ± 0,47 D	2,62 ± 0,21 E	2,67 ± 0,52 DE	3,11 ± 0,39 D
Na (mM)	Superiore	5,16 ± 1,21 C	4,65 ± 0,70 C	3,44 ± 0,73 DE	2,98 ± 0,32 E	13,76 ± 0,87 A	11,59 ± 1,37 B
	Inferiore	1,10 ± 0,14 F	2,39 ± 0,31 E	3,73 ± 0,78 D	2,68 ± 0,25 E	2,39 ± 0,27 E	3,11 ± 0,52 ^D _E
K (mM)	Superiore	4,64 ± 0,67 C	4,03 ± 0,32 ^C _D	4,41 ± 0,55 C	4,41 ± 0,08 C	8,15 ± 0,96 A	8,11 ± 1,17 A
	Inferiore	1,96 ± 0,46 E	2,38 ± 0,34 E	3,61 ± 0,68 D	4,69 ± 0,60 C	5,25 ± 1,24 BC	5,73 ± 0,88 B

Nelle tesi irrigate con acqua ad alta salinità si è verificato un maggiore accumulo di Na^+ nella sostanza secca, come osservato anche da altri autori (Santamaria et al.2003). Tale assorbimento è stato più alto dove il Na^+ si era accumulato in maniera maggiore nel substrato (Sonneveld, 2000; Silverbush and Ben-Asher, 2001; Malorgio et al.,2001). Nella subirrigazione, nonostante l'elevato assorbimento di Na^+ non si sono notate significative riduzioni nella crescita totale probabilmente perché in queste tesi l'accumulo di tale elemento è in genere graduale ed permette alle piante di adattarsi. Ciò non si è verificato nel caso dell'irrigazione a goccia; in questo caso, infatti, il repentino innalzamento della salinità ha indotto ad una sorta di stress riducendo la crescita delle piante e di conseguenza l'assorbimento del Na^+ .

Dalle analisi condotte a fine coltivazione sui substrati si nota come i parametri più variabili siano stati la concentrazione del Na^+ , quella del K^+ e l'EC (Tabella 8-10). Tali parametri sono stati influenzati sia dalla qualità dell'acqua irrigua impiegata che dal sistema irriguo.

Nelle tesi a ciclo chiuso irrigate a goccia (GCOA e GCTA) la frazione di drenaggio ad ogni intervento irriguo era elevata per favorire il dilavamento dei sali dal substrato e il loro accumulo nella soluzione ricircolante: infatti si sono rese necessarie più sostituzioni di questa a causa del ripetuto superamento della soglia di CE massima tollerabile dalla coltura (3.5 mS/cm).

Nelle tesi a ciclo aperto (GAOA e GATA) la dose di somministrazione della soluzione nutritiva è stata calcolata in modo più accurato perché il lisciviato andava perso; tale situazione ha fatto sì che ad ogni intervento irriguo il dilavamento del substrato fosse minore rispetto alle tesi a ciclo chiuso. Questo sostanzialmente è il motivo per il quale nell'irrigazione a goccia a ciclo aperto si è accumulato più sodio rispetto all'analogia irrigazione a ciclo chiuso. La subirrigazione a scorrimento su canaletta, metodo irriguo dove non c'è dilavamento del substrato, è risultato il sistema irriguo dove si è verificato un accumulo maggiore di elementi non essenziali nel substrato stesso e contemporaneamente un minore accumulo di questi nella soluzione nutritiva ricircolante (Reed, 1996; 1993, Guarino et al., 2002).

L'analisi dell'estratto acquoso della parte alta e bassa del substrato di coltivazione ha evidenziato un accumulo di salinità maggiore (in misura diversa a seconda del sistema irriguo) nello strato alto di questo. Tale accumulo appare anomalo nel caso dell'irrigazione a goccia, perché ci si aspettava che la somministrazione dall'alto potesse lisciviare in basso i sali nutritivi, come confermato da vari lavori in bibliografia (Incrocci et al, 2006; Cox, 2001).

L'anomalia riscontrata potrebbe essere attribuita al particolare tipo di gocciolatore utilizzato: infatti per avere un migliore controllo della frazione di lisciviazione, si sono utilizzati gocciolatori con bassissima portata (2 litri/ora), invece di gocciolatori con maggiore portata (da 6 a 9 litri/ora). Ciò ha impedito un efficiente lavaggio della parte alta, poiché la velocità di erogazione dell'acqua era nettamente inferiore alla capacità di infiltrazione del substrato: infatti l'acqua di irrigazione non riusciva a bagnare completamente la superficie del vaso, come normalmente accade con gocciolatori a portata maggiore.

Nella subirrigazione a scorrimento su canaletta il fenomeno dell'accumulo del sodio nella parte alta del vaso è imputabile al movimento ascendente della soluzione nutritiva.

I substrati tolti dai rispettivi vasi sono stati osservati e fotografati allo scopo di vedere in quale porzione si è avuto il maggiore sviluppo radicale ed in quale porzione questo era più sofferente. Nelle tesi GCTA; GCTB; SCTB; SCTA; GAOA; GAOB, per le quali maggiori erano le differenze nella crescita delle radici, si è proceduto anche alla misura (peso) dell'apparato radicale (Tabella 11), opportunamente ripulito dal substrato. La ripulitura è avvenuta in immersione in acqua allo scopo di danneggiare il meno possibile i capillari, le radici così ottenute sono state asciugate tamponandole con carta bibula ed essiccate in stufa a 70°C.

Tabella 11: Peso secco degli apparati radicali della coltura di geranio.

TESI	Radici (g, DW)
GCTA	1.99 ± 0.26 C
GCTB	2.61 ± 0.49 BC
SCTB	2.98 ± 0.44 B
SCTA	1.83 ± 0.34 C
GAOA	2.92 ± 0.15 B
GAOB	3.68 ± 0.55 A



GCTA

GCTB



GAOA

GAOB

Differenze nella crescita radicale tra le tesi irrigate con acqua ad alta salinità a sinistra (GCTA e GAOA) e quelle irrigate con acqua di buona qualità a destra (GCTB e GAOB).

Nel caso di acque irrigue di buona qualità, tutti i sistemi di irrigazione sono adatti alla coltivazione del geranio in vaso. Solo nel caso della subirrigazione, si evidenzia un lieve accumulo del sodio nella parte superiore del substrato; d'altra parte, in questo caso, il maggiore sviluppo radicale ha interessato la parte inferiore del substrato, evitando così uno stress alle piante.

Dalle pesate effettuate sulle radici e dalle foto che ne mostrano lo sviluppo è emerso come l'utilizzo di acqua ad alta salinità induca un evidente riduzione di sviluppo sull'apparato radicale.

Alla fine della prova in serra, è stata simulata la durata post-vendita (*shelf-life*) delle piante sui balconi e nei giardini. A tal scopo, alcune piante prelevate dalle diverse tesi sono state irrigate con la normale pratica che prevede la somministrazione dell'acqua dall'alto del vaso (pertanto senza subirrigazione). Dopo alcuni giorni, le piante subirrigate con acqua salina hanno mostrato rapidamente (e contrariamente alle piante provenienti dagli altri trattamenti sperimentali) dei disseccamenti e delle clorosi fogliari, seguiti non di rado da filloptosi. Questi fenomeni sono attribuibili alla solubilizzazione e al successivo movimento negli strati inferiori del vaso dei sali precedentemente accumulati negli strati superiori, in conseguenza di un opposto movimento dell'acqua irrigua nel caso dell'annaffiatura rispetto alla subirrigazione in serra. Un fenomeno simile è riportato da Deneke et al (1993) su piante subirrigate di poinsettia.



SCTA



SCTB

Crescita delle radici nelle colture subirrigate con alta o bassa salinità dell'acqua irrigua.



Differenza di shelf-life tra una pianta irrigata a goccia a sinistra, rispetto ad una subirrigata a destra, in cui si può notare una situazione di stress

3.5 CONCLUSIONI

I risultati conseguiti in questo lavoro di sperimentazione durato due anni hanno evidenziato come i sistemi con maggiore efficienza d'uso dell'acqua sono stati ovviamente quelli chiusi e tra questi ultimi quelli basati sulla subirrigazione che hanno consentito, anche nel caso di acque saline, di annullare praticamente il runoff perché limitando l'accumulo di salinità nella soluzione nutritiva non è stato necessario il rinnovo della medesima (Reed, 1996; 1993, Guarino et al., 2002). L'uso del tensiometro nei sistemi aperti ha consentito un risparmio idrico notevole, soprattutto nei sistemi aperti (-50%), ma ha dato buoni risultati anche in confronto con i sistemi chiusi con l'utilizzo di acque saline.

L'uso di acqua di buona qualità non ha determinato effetti rilevanti sulla crescita delle piante; al contrario, con acqua relativamente salina, si è osservata una riduzione significativa della crescita nel caso dei sistemi chiusi, ed in particolare con l'irrigazione a goccia. In questo caso, infatti, si è osservato un notevole e repentino aumento della salinità della soluzione ricircolante che ha determinato, evidentemente, una condizione di stress per la coltura, oltre a rendere necessario il rinnovo della soluzione stessa in un paio di occasioni. L'accumulo repentino dei sali nella soluzione ricircolante è stato incentivato dall'alta frazione di lisciviazione dal vaso che si verificava ad ogni intervento irriguo. La tecnica della subirrigazione ha permesso una semplificazione nella gestione della soluzione nutritiva ricircolante in quanto i sali, in particolare il NaCl, si sono accumulati negli strati superiori del vaso, meno interessati dallo sviluppo radicale (Incrocci et al., 2006; Santamaria et al. 2003). Secondo alcuni autori americani (Reed, 1996) e tedeschi (Molitor, 1993), la subirrigazione riduce, rispetto all'irrigazione a goccia, le variazioni della composizione della soluzione ricircolante nei sistemi chiusi, come verificato anche sperimentalmente in questo lavoro.

La subirrigazione è una tecnica che necessita di forti investimenti iniziali, ma che è in grado di fornire importanti vantaggi tra cui una forte riduzione della manodopera necessaria e una maggiore uniformità nelle piante coltivate. Inoltre fra i sistemi a ciclo chiuso è l'unico a fornire maggiore affidabilità e maggiore semplicità di gestione sia per il rifornimento idrico-minerale che per il controllo dei patogeni radicali. Tuttavia i dati sperimentali ottenuti presso il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa confermano che questa tecnica abbisogna di acque irrigue di buona qualità e con bassa concentrazione di elementi non essenziali. (Incrocci e Pardossi, 2007)

La subirrigazione si è dimostrata una tecnica più efficace dell'irrigazione a goccia per ridurre gli effetti della salinità dell'acqua irrigua sulla coltura, almeno nella fase di coltivazione in serra. Infatti, simulando la vita post-vendita delle piante sui balconi e nei giardini, irrigandole quindi con normali sistemi di irrigazione (aspersione o goccia e quindi con il flusso idrico che va dall'alto verso il basso), le piante coltivate con il sistema della subirrigazione con acque saline hanno mostrato rapidamente (e contrariamente alle piante provenienti dagli altri trattamenti sperimentali) disseccamenti e clorosi fogliari, seguiti non di rado da filloptosi. Questi fenomeni sono attribuibili alla solubilizzazione e al successivo movimento negli strati inferiori del vaso dei sali precedentemente accumulati negli strati superiori, in conseguenza di un opposto movimento dell'acqua irrigua nel caso dell'annaffiatura rispetto alla subirrigazione praticata in serra (v. Deneke *et al.*, 1993). In conclusione possiamo affermare che la tecnica della subirrigazione a ciclo chiuso è molto vantaggiosa nel caso in cui si usino acque di buona qualità, se invece viene utilizzata acqua di modesta salinità sarebbe auspicabile la coltivazione di specie a ciclo breve e l'incremento delle dimensioni del vaso; inoltre è anche consigliabile una certa riduzione della concentrazione di nutrienti nella soluzione ricircolante in modo da evitare l'accumulo di ioni in eccesso. Qualora si dovesse utilizzare acqua ad alta salinità specie per la coltivazione di piante ornamentali in vaso, dove è importante anche la durata in vaso dopo la vendita di queste (*shelf-life*) è consigliabile l'uso di sistemi irrigui a goccia a ciclo chiuso, prevedendo un'alta frazione di lisciviazione ed un frequente ricambio della soluzione ricircolante, allo scopo di lisciviare i sali in eccesso dal substrato e di allontanarli dalla coltura mediante il rinnovo della soluzione nutritiva.

L'utilizzo dei tensiometri si è rivelato indispensabile per poter controllare la frazione di lisciviazione nei sistemi a ciclo aperto. In particolare l'uso del tensiometro con sistemi di irrigazione a ciclo aperto ha dato risultati soddisfacenti anche in termini di efficienza idrica e nutritiva nei confronti dell'irrigazione a goccia a ciclo chiuso.

BIBLIOGRAFIA

- Adams P., Ho L.C. (1990)** – Effects of salinity on calcium transport in tomato.- plant Nutrition-Physiology and applications. Pag. 469-472
- Aikman D.P.; Hauter G. (1990)** – Influence of radiation and Humidity on traspiration: implication for calcium levels in tomato leaves.- J. Horti. Sci. 65, 245-253.
- Al-Rawahy S.A.; Stroehlein, J.L. Pessarakkli M. (1992)** – Dry matter yield and nitrogen-15, Na, Cl and K content of tomatoes under sodium chloride stress.- J. Plant Nutr. 15, 341-358.
- Alpi A., Tognoni F. (1990)** – Coltivazione in serra – ED. Agricole- pag.227-236.
- Armstrong T., Kent M., Reed D. (1999)** – Si può impiegare nella subirrigazione acqua di scarsa qualità – Clamer informa 2- pag.11-14.
- Asher C.J., Edwards D.G., 1983.** “Modern solution culture techniques”, Inorganic plant nutrition, (Ed. Lauchli A., Bielesli R.L.), Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, 15A, pp. 94-119.
- AA. V.V., 1992.** Metodi di analisi dei compost. Regione Piemonte, Assessorato all'Agricoltura, Collana Ambiente.
- Bailey D.A., Nleson P.V. Nelson-** Managing micronutrients in the green-house,
- Baille A., 1994.** “Irrigation management strategy of greenhouse crops in mediterranean countries”, Acta Horticulturae, 361, pp. 105-122.
- Baille A., 1998** – Crop water requirements of greenhouse crops (Application to fertirrigation scheduling). Seminari su colture idroponiche, Pisa, 26-27 Febbraio 1998.
- Benoit, F. and Ceustermans, 1995-** Horticultural aspects of ecological soilless growing methods. Acta Horticulturae, 396: 11-24.
- Bianco V.V., 2000** – Il progetto di ricerca tepore – Ortaggi fuori suolo – Supplemento n°1 a Colture Protette n°5
- BotriniL., Lipucci Di Paola M., Temperini O., Giustiniani L., Graifenberg A., 1996** – Stress salino: risposta di specie orticole e suggerimenti di tecnica colturale.- L'informatore agrario, 22, pag.41-46.
- Campiotti C.A., Ceccatelli M., Taggi R., Cervellati A., Ponzo U., Tognoni F., Malorgio F., Pardossi A. 1999.** Tecnologie per produrre vegetali ad uso alimentare in Antartide. L'informatore Agrario, 11: 73-76.
- Cariglia, 2001.** “Un ambiente umido limita il danno di irrigazione salina nel pomodoro fuori suolo”. Colture protette n°11, pp 77-84.

- Carrai C., Schipani T.M.I., Lorenzini G., D'Agliano G., 1991.** Aspetti fitopatologici connessi con le colture 'fuori suolo'. *L'Informatore Agrario* 47(15): 51-59.
- Cataldo, D.A.; Haroon, M.; Schrader, L.E.; Youngs, 1975 V.L.** Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun Soil Science and Plant Analysis*, 6 (1): 71-80.
- Clini C., Gullino M.L. 1999.** Il bromuro di metile. Problematiche a livello ambientale e ricadute sull'agricoltura italiana. a *Culture Protette*, 28 (Supplemento 4): 4-16.
- Cooper, A., 1979-** *The ABC of NFT*. Grower Books, London, pp. 181.
- Cox, D. A. 2001** Growth, Nutrient Content and Growth medium Electrical Conductivity of poinsettia Irrigated by Subirrigation or from overHead. *J. Plant Nutr.*, 24 (3), 523-533.
- Deneke, C.F,m Behe, B.K., Olive, J.W. 1993.** Influence of suirrigation on postproduction longevity of poinsettias. Research Report 1993. Ornamentals. Rep. Rpt. Ser. & Alabama Agr. Exxp. Sta., Auburn.
- Dole, J.M.; Cole, J.C.; von Broembsen, S.L 1994.** Growth of Poinsettias, Nutrient Leaching, and Water-Use Efficiency Respond to Irrigation Methods. *HortScience*, 29 (8), 858-864.
- De Rijck G. and Schrevens E., 1997.** pH Influenced by the Elemental Composition of Nutrient Solutions. *Jor. Of Plant Nutyrition*, 20 (7&8): 911-923.
- Epstein E., 1978.** "Mineral nutrition of plants: principles and perspectives", John Wiley & Sons, New York.
- Enzo M., Giaquinto G., Lazzerin R., Pimpini F., Sambo P, 2001.** Principi tecnico-agronomici della fertirrigazione e del fuori suolo. Veneto Agricoltura.
- FAO, 1990.** Soilless culture for horticultural crop production. Plant production and protection paper 101.
- Feigin A.,1985** – Fertilization management of crops irrigated with saline water.- *Plant soil* 89, pag.285-299.
- Ghazi N. Al-Karaki, 2000** – Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. – *J. Plant Nutyr.* 23(1), 1-8; 23(3), pag.369-379.
- Hoagland D.R. e Arnon D.I. ,1938.** *The Water-Culture method for growing plants without Soil.* Calif. Agrc. Exp. Stn Circ. 347. 39 pp.
- Incrocci L., Lorenzini O., Malorgio F., Pardossi A., Tognoni, F., 2001.** Valutazione quanti-qualitativa della produzione di rucola (*Eruca vesicaria* L.Cav©) e basilico (*Ocimum*

basilicum L.) ottenuta in suolo e floating system utilizzando acque irrigue con differenti contenuti di NaCl. *Italus Hortus*, 8 (6): 92-97.

Incrocci L., Pardossi A., *Il Floricoltore* 03-2007

Ingestad T., Lund A., 1992. “Theories and methods on plant nutrition and growth”, *Physiologia Plantarum*, 84, pp. 177-184.

Jackson, M.B., 1980- Aeration in the nutrient film technique of glasshouse crop production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dioxide. *Acta Horticulturae*, 98: 61-78.

Jensen M.H., 1997. *Hydroponics. Hortscience*, vol 32 (6): 1018-1021.

Jouët J.P., 2002-Plastics in the world. *Plasticulture*, 2 (120): 108-126.

Lenzi, A; Oggiano, N; Rinaldi, M.; Maletta, M. 2000 Gerbera a ciclo chiuso: fertirrigazione e substrati. *Colture Protette*, 29 (2), 85-91.

Kent, M.W.; Reed, D.Wm. 1996. Nitrogen Nutrition of New Guinea Impatiens ‘Barbados? And Spathiphyllum ‘Petite’ in a Subirrigation System. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (5), 816-819.

Leoni S. (1995)- Le colture senza suolo : cosa sono, perché sono in espansione. Quali sistemi e materiali usare.- *L’informatore agrario* 1; pag.39-45.

Lesaint C., Coic Y., 1983 – *Coltures hydroponiques – LaMaison Rustique*, Parigi.

Lipari, V. e Noto, G., 1995- Fuori suolo: come, quando, perché. *Colture protette*, 24 (12): 27-33.

Magnifico V., Parente A., 1995. “Principi della nutrizione minerale nelle colture idroponiche”, *Atti del simposio “La coltura senza suolo in Italia: tecniche di coltivazione, problematiche e prospettive di diffusione”*, Lodi 28 e 29 settembre 1995, pp. 9-14.

Malorgio F., Pardossi A., 1996. “La gestione della soluzione nutritiva nei sistemi di coltivazione della fragola senza suolo”, *Frutticoltura*, 6, pp. 31-34, Edagricole, Bologna.

Malorgio F., Pardossi A., Tognoni F., Bertolacci M., Casarotti D., Martignon G., Schiavi M., 1991. “Controllo del consumo idrico nella coltivazione senza suolo del pomodoro”, *Colture protette*, 8/9, pp. 123-127.

Malorgio F., Incrocci L., Carmassi G., Pardossi A., Tognoni F., 2001. Accumulo di sali (NaCl) e consumo minerale in pomodoro coltivato in sistemi idroponica a ciclo chiuso.

Martignon G., Venezia A., 1995- I sistemi di coltivazione senza suolo. *Atti del Simposio "La coltura senza suolo in Italia"*, Lodi, 28-29 settembre 1995.

Minuto A., Garibaldi A., 2001. Riutilizzo di substrati esausti e tecniche di disinfezione delle soluzioni circolanti in colture senza suolo a ciclo chiuso. *Italus Hortus*, 8(6): 23-27

- Nielsen N.E. 1984** – Crop production in recirculating nutrient solution according to the principle of regeneration .- ISOSC Proceedings pag.421-426.
- Pardossi, A., 1993-** Le coltivazioni "senza suolo" per l'orticoltura protetta italiana. L'Informatore Agrario, 1993 (44): 39-41.
- Pagnoni F., 1989** – Subirrigazione con soluzione ricircolata – Clamer informa 7-8 – pag.439-445.
- Pardossi A., 1994.** “Esigenze nutritive delle colture in ciclo chiuso e gestione della soluzione ricircolante”, Workshop internazionale “La coltivazione a ciclo chiuso: l’impiantistica, la gestione della soluzione, gli aspetti fitopatologici”, Capannori (Lu), 17 e 18 settembre 1994.
- Pardossi A., Ceccatelli M., Malorgio F., Tognoni F., 1994.** “La gestione della soluzione nutritiva in colture idroponiche a ciclo chiuso”, L’Informatore Agrario, 44, pp. 43-57.
- Pardossi A., Consorti B., Carrai C., Malorgio F., Tognoni F., 1992.** “Il raffreddamento della soluzione nutritiva in impianti N.F.T: durante la stagione estiva: aspetti biologici - agronomici.”, Colture protette, 10, pp. 107-110.
- Pardossi A., Malorgio F., Tognoni F., 1995.** “Control of mineral nutrition in melon plants grown with NFT”, Acta Horticulturae, 396, pp. 173-180.
- Pardossi A., Tognoni F., Brtero G., 1987** – The influence of nutrient solution concentration on growth, mineral uptake and yield of tomato plants grown in NFT.- Advances in horticultural Science n°1 pag.8-10.
- Pardossi A., Fiorini A., Rognoni F., Serra G., 1992** – Tomato plants grown with NFT in mediterranean climate: growth, fruit yield, water usage and macronutrient uptake in relation to growing season.- Agricoltura mediterranea n°122 pag.75-84.
- Reed D.W., 1996** - Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops, Ball Publishing, Batavia (USA).
- Resh H.M., 1998.** Hydroponic food production: a definitive guidebook of soilless food-growing methods. 5° ed.. Woodbridge Press Publishing Company, California:527 pp.
- Ristaino J.B., Thomas W., 1997.** Agriculture, methyl bromide, and the ozone hole. Can we fill the gaps? Plant Disease, 81: 964-977.
- Runia W Th., 1995.** A review of possibilities for disinfection of recirculating water from soilless cultures. Acta Horticulture, 382: 221-228.
- Santamaria, P., Campanile, G., Parente, A., Elia, A., 2003.** Subirrigation vs. drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 78, 290–296.

- Santamaria P., 2001** – Che storia l'idroponica !- L'informatore agrario – pag. 43-44.
- Santamaria P., Serio F., 2001** – Coltivazione a ciclo chiuso: la subirrigazione in canaletta. - L'informatore agrario – pag.45-49.
- Santamaria P., Valenzano V., 2001** – La qualità degli ortaggi allevati senza suolo.- *Italicus Hortus* – vol. 8, n°6, novembre-dicembre – pag.31-38.
- Schiavi M., 1991.** “Controllo del consumo idrico nella coltivazione senza suolo del pomodoro”, *Culture protette*, 8/9, pp. 123-127.
- Shive J. W. e Robbins W.R. ,1937.** *Methods of growing plants in solution and sand cultures.* New Jersey Agr. Expt. Sta. Bul. 636.
- Sogni Stefano, 1990.** La salinità delle acque di irrigazione. *L'Informatore Agrario*, (20): 37-46.
- Sonneveld, 2000.**C.Effect of Salinity on Substrate Grown Vegetables and Ornamentals in Greenhouse Horticulture. Ph Thesis, Wageningen University
- Sonneveld C., Voogt W. and Spaans L., 1999.** An universal algorithm for calculation of nutrient solutions. *Acta Horticulturae* 481: 331-339.
- Stanghellini, M.E., Nielsen C.J., Kim D.H., Rasmussen S.L., Rorabaugh P.A., 2000.** Influence of sub- versus top-irrigation and surfactants in a recirculating system on disease incidence caused by *Phytophthora* spp. In potted pepper plants. *Plant Disease*, 84: 1147-1150.
- Stanghellini, 2001.** “Un ambiente umido limita il danno di irrigazione salina nel pomodoro fuori suolo”. *Culture protette* n°11, pp 77-84.
- Steiner A.A., 1984.** “The universal nutrient solution”, *ISOSC Proceedings*, pp. 633-649.
- Tinivella F., Minuto A. (2003)** – Fuori suolo: alternativa sostenibile? -L'informatore agrario 2- pag.77-78
- Tartari, G.A e R. Mosello, 1997-** Metodologie analitiche e controlli di qualità nel laboratorio chimico dell'Istituto Italiano di Idrologia. Documenta n° 60 dell'Istituto Italiano di Idrobiologia-CNR. ISSN 0393-8395.
- Van Os E.A., Stanghellini C., 2001.** Diffusion and environmental aspects of soilless growing systems. *Italus Hortus*, 8(6): 9-15.
- Vincenzoni A., 1980.** “Coltivazioni senza terra. Idroponiche e aeroponiche”, Edagricole, Bologna.
- Wohanka W., 1993.** Slow sand filtration and UV radiation; low-cost techniques for disinfection of recirculating nutrient solution or surface water. *ISOSC Proceedings of the 8th. International Congress on Soilless Cultures*, 1992: 497-511.

Zeroni, M., Gale, J. and Ben-Asher, J., 1983- Root aeration in deep hydroponic system and its effect on growth and yield of tomato. *Scientia Horticulture*, 19: 213-220.

Zuccari D., Battistelli P., Sbaraglia M., 1997- Il punto sulle colture fuori suolo. *Colture protette*, 26 (7-8): 51-58.

Siti Internet consultati

- www2.arsia.toscana.it
- www.cespevi.it
- www.europa.eu
- www.fao.org
- www.greencrossitalia.it
- www.rete.toscana.it
- www.wwf.it
- www.leafsen.com
- www.ibimet.cnr.it

RIASSUNTO

Il settore florovivaistico è uno dei settori agricoli che più fanno uso della risorsa idrica considerando, appunto, i notevoli volumi d'irrigazione impiegati per unità di superficie coltivata e di prodotto ottenuto. La riduzione ed il peggioramento qualitativo (soprattutto per fenomeni di salinizzazione delle acque di falda, almeno nelle zone costiere) delle risorse idriche obbliga, comunque, a sviluppare e diffondere dei metodi di irrigazione più efficienti, anche in termini di riduzione dell'impatto ambientale provocato dai fertilizzanti e dai prodotti antiparassitari, veicolati nell'ambiente attraverso le acque di drenaggio (runoff) fuoriuscite dalle serre e dai vivai.

La tesi riporta i risultati di una sperimentazione condotta nell'ambito del Progetto ECO. IDRI. FLOR presso il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie di Pisa, in collaborazione con il CNR-IBIMET di Firenze. La tesi aveva come obiettivo la valutazione tecnico-agronomica di diversi sistemi di irrigazione applicati alla coltivazione in vaso del geranio (*Pelargonium peltatum* L.). Sono state condotte due prove, una a carattere preliminare nella primavera del 2005 ed un'altra nell'anno seguente. Nella prova condotta nel 2006 sono state confrontati diversi sistemi di irrigazione differenziati per: i) tecnica di distribuzione dell'acqua (irrigazione a goccia o subirrigazione); ii) metodo di pilotaggio automatico (temporizzatore o tensiometro); iii) recupero o meno delle acque di drenaggio (sistema chiuso o aperto); iv) salinità dell'acqua impiegata per preparare le soluzioni di fertirrigazione (acqua di pozzo con elevata salinità, con EC di 1.2-1.3 mS/cm, legata essenzialmente alla presenza di 9 mmol/L di NaCl, acqua piovana con valori di EC inferiori a 0.5 mS/cm). Nel caso del controllo basato sul temporizzatore, la frazione di drenaggio è stata intorno al 40%, mentre nelle tesi che utilizzavano il tensiometro l'irrigazione era avviata quando si raggiungeva un valore di tensione d'umidità nel substrato pari a -50 hPa. Durante la coltivazione e a fine ciclo sono state condotte delle analisi sulle soluzioni nutritive, sulle piante e sui substrati di coltivazione. I sistemi con maggiore efficienza d'uso dell'acqua sono stati ovviamente quelli chiusi e tra questi ultimi quelli basati sulla subirrigazione hanno consentito, nel caso di acque saline, di annullare praticamente il runoff che, invece, si è attestato intorno al 23%. Rispetto al timer, l'uso del tensiometro ha consentito un risparmio idrico notevole, soprattutto nei sistemi aperti (-50%) e quando si è impiegata l'acqua a maggior salinità (-10%).

Usando acqua di buona qualità non ha determinato effetti rilevanti sulla crescita delle piante; al contrario, con acqua relativamente salina, si è osservata una riduzione significativa della

crescita nel caso dei sistemi chiusi, in particolare con l'irrigazione a goccia. In questo caso, infatti, si è osservato un notevole aumento della salinità della soluzione ricircolante e del substrato che ha determinato, evidentemente, una condizione di stress per la coltura, oltre a richiedere il ricambio della soluzione stessa in un paio di occasioni. La tecnica della subirrigazione ha alleviato gli effetti negativi dell'alta salinità dell'acqua in quanto i sali, in particolare il NaCl, si sono accumulati negli strati superiori del vaso, meno interessati dallo sviluppo radicale.

Quindi, la subirrigazione si è dimostrata una tecnica più efficace dell'irrigazione a goccia per ridurre gli effetti della salinità dell'acqua irrigua, almeno nella fase di coltivazione in serra. Infatti, simulando la vita post-vendita delle piante sui balconi e nei giardini, irrigandole quindi con dei normali annaffiatori (pertanto, dall'alto verso il basso), le piante subirrigate con acque saline hanno mostrato rapidamente (e contrariamente alle piante provenienti dagli altri trattamenti sperimentali) dei disseccamenti e delle clorosi fogliari, seguiti non di rado da filloptosi. Questi fenomeni sono attribuibili alla solubilizzazione e al successivo movimento negli strati inferiori del vaso dei sali precedentemente accumulati negli strati superiori, in conseguenza di un opposto movimento dell'acqua irrigua nel caso dell'annaffiatura rispetto alla subirrigazione in serra.

RINGRAZIAMENTI

Per il continuo sostegno nella realizzazione di questa importante sperimentazione ringrazio il prof. Alberto Pardossi ed il dott. Luca Incrocci del Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa.

Un affettuoso ringraziamento va a tutta la mia famiglia, che mi ha permesso il raggiungimento di questo grande traguardo, e a mio padre che con il suo carisma e la sua grande forza d'animo mi ha guidato fino a questa ambita meta.

Un ringraziamento all'ing. Piero Battista ed al CNR IBIMET per la collaborazione e la fornitura dei prototipi dei sistemi di controllo dell'irrigazione utilizzati nelle prove sperimentali in serra.

Grazie a tutti gli amici che in questi anni mi hanno sostenuto nei momenti difficili.